Série E
N° d'ordre :
24

# THÈSES

PRÉSENTÉES

## A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

## LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

**Mme S. LALLEMAND**

Pharmacien supérieur
Assistante à la Faculté de Pharmacie

---

**1re THÈSE.** — Étude de l'Action des Rayons X sur le Développement des Plantes.

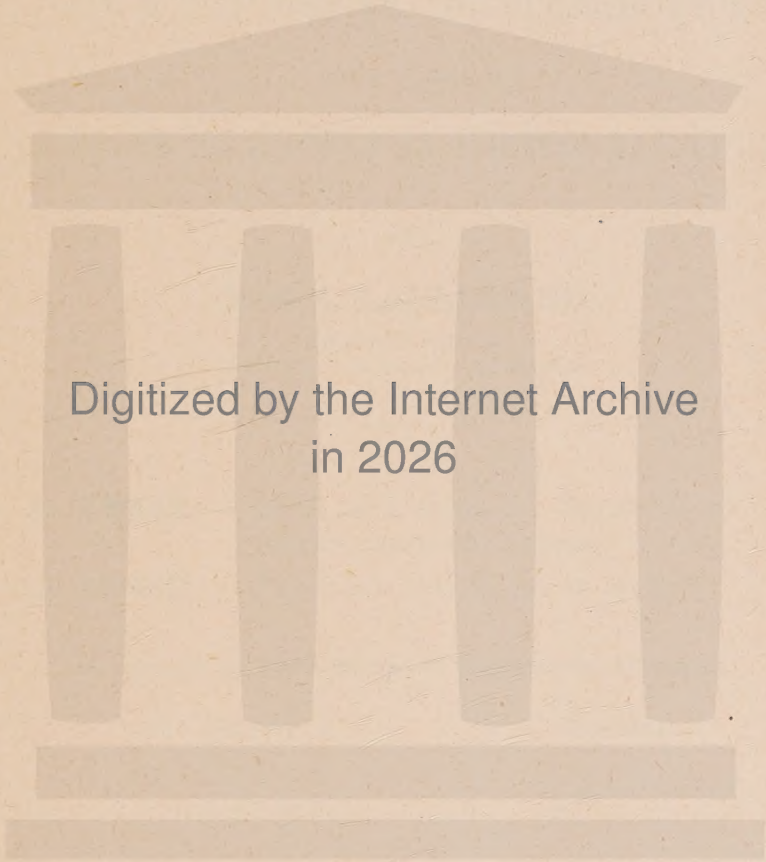
**2e THÈSE.** — Propositions données par la faculté.

**Soutenues en 1929 devant la Commission d'examen**

MM. TERROINE . . . . . Président.
VLÈS . . . . . } Examinateurs.
CHERMEZON . . . . . }

---

STRASBOURG
IMPRIMERIE ALSACIENNE
1929


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548014_0022

Série E
N° d'ordre :
24

# THÈSES

PRÉSENTÉES

## A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

POUR OBTENIR

## LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES NATURELLES

PAR

**Mme S. LALLEMAND**

Pharmacien supérieur
Assistante à la Faculté de Pharmacie

---

1re **THÈSE.** — Étude de l'Action des Rayons X sur le Développement des Plantes.

2e **THÈSE.** — Propositions données par la faculté.

**Soutenues en 1929 devant la Commission d'examen**

MM. TERROINE . . . . . Président.
VLÈS . . . . . } Examinateurs.
CHERMEZON . . . . . }

---

STRASBOURG
IMPRIMERIE ALSACIENNE
1929

# FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

*Doyen* . . . . . P. Th. MULLER, Professeur de chimie générale et de chimie physique.

*Doyen honoraire* . . E. BATAILLON.

*Profess. honoraires* H. VILLAT, GIGNOUX et FRECHET.

*Professeurs* . . .

| | |
|---|---|
| G. VALIRON . . . . . | Analyse supérieure. |
| E. ESCLANGON . . . | Astronomie. |
| P. WEISS . . . . . | Physique générale. |
| H. OLLIVIER . . . . . | Physique générale. |
| E. ROTHE . . . . . | Physique du Globe. |
| L. HACKSPILL . . . . | Chimie minérale. |
| H. GAULT . . . . . | Chimie organique. |
| E. TOPSENT. . . . . | Zoologie et Anatomie comparée. |
| C. HOUARD . . . . . | Botanique. |
| E. TERROINE . . . . . | Physiologie générale. |
| J de LAPPARENT . . | Pétrographie. |
| E. CHATTON . . . . . | Biologie générale. |
| R. THIRY . . . . . | Mécanique. |
| G. CERF . . . . . | Calcul différentiel et intégral. |
| G. DUBOIS . . . . . | Géologie et Paléontologie. |
| G. RIBAUD . . . . . | Physique expérimentale. |
| N. . . . . | Mathématiques générales. |
| E. CORNEC . . . . . | Chimie appliquée. |
| F. VLÈS . . . . . | Physique bio'ogique. |
| de BEAUCHAMP . . . | Biologie générale. |
| L. BOUNOURE . . . . | Zoologie. |
| G. FOEX . . . . . | Physique générale. |
| N. . . . . | Physique mathématique. |

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

*Chargés de cours et Maîtres de Conférences*

| | |
|---|---|
| G. FRIEDEL . . . . . | Minéralogie. |
| G. REMPP . . . . . | Physique du Globe. |
| R. ROMANN . . . . . | Chimie appliquée. |
| J. LAGARDE . . . . . | Botanique. |
| Ch. STAEHLING . . . | Chimie appliquée. |
| LACOSTE . . . . . | Physique du Globe. |
| HUGEL . . . . . | Chimie du Pétrole. |
| H. WEISS . . . . . | Physico-Chimie du Pétrole. |
| MILLOUX . . . . . | Mathématiques. |
| CHERMEZON . . . . . | Botanique. |
| ROUSSEL . . . . . | Mathématiques générales. |

*Secrétaire* . . . . E. BONTEMS.

# INTRODUCTION

Depuis plus d'un siècle, il est définitivement établi que la lumière est due à un phénomène périodique, de nature vibratoire, se propageant à partir du corps lumineux à travers l'espace avec la vitesse énorme que l'on sait ; chaque radiation simple, avec la sensation de couleur qu'elle crée, est caractérisée par une longueur d'onde donnée. Du jour où ont été étudiées les propriétés de la lumière, autres que les propriétés visuelles, on a eu le sentiment très net qu'un rayonnement pouvait exister alors que l'œil ne percevait plus rien : les domaines de l'infra-rouge et de l'ultra-violet ont alors été trouvés. Puis les ondes hertziennes avec leurs longueurs d'onde immenses sont venues s'ajouter au côté de l'infra-rouge alors que, dans la suite, l'analyse des rayons X a mis en évidence des radiations de très courtes longueurs d'onde. Les ondes ultra-violettes très ténues, étudiées par Millikan, ont environ 100 Angströms tandis que les longueurs d'onde des rayons X s'étendent de 10 Angströms, pour les rayons les plus mous, à 0,05 Angströms, pour les plus durs, l'existence des radiations de 10 à 100 Angströms rattachant l'ultra-violet aux rayons X ayant été démontrée par Holweck. Mais ce n'est pas encore la limite extrême de petitesse des ondes connues ; les substances radioactives émettent, en effet, les rayons $\gamma$, vibrations encore beaucoup plus courtes, cent fois plus petites peut-être que les rayons X les plus durs. Ces rayons $\gamma$ sont, en outre, accompagnés par d'autres rayonnements, le rayonnement $\beta$ en particulier, qui est de nature corpusculaire. Toutes ces manifestations d'énergie sont évoquées par le mot « radiations ».

Ainsi, depuis l'extrémité des rayons $\gamma$ jusqu'aux immenses ondes de la télégraphie sans fil, il n'existe aucune solution de continuité, le domaine des radiations est sans coupure. Mais quelle variété dans leurs propriétés : rayons $\gamma$ qui traversent les métaux les plus denses,

rayons X pour qui les organismes vivants sont de bien faibles obstacles, rayons ultra-violets de Schumann, arrêtés par la plus mince couche d'air, rayons ultra-violets moyens, absorbés par de nombreuses substances organiques, ondes lumineuses, à qui nous devons de n'être pas aveugles, infra-rouge, qui transporte la plus grande partie de la chaleur, et enfin ondes hertziennes, qui peuvent traverser des espaces immenses. Dans tout cet ensemble, notre œil ne perçoit que les radiations comprises entre les limites très étroites de 0,4 μ à 0,8 μ. Cette simple remarque montre qu'il n'est pas admissible de parler d'une action biologique des radiations. On observe, en effet, souvent dans la littérature que des auteurs identifient rayons X et radium au point de vue de leurs propriétés biologiques ; ils généralisent, par exemple, aux rayons X les résultats qu'ils ont obtenus sur le radium et inversement. Il est certain que des rayonnements de longueurs d'onde différentes possèdent certaines propriétés semblables, mais il n'est pas scientifique, et il est de plus imprudent, vu les applications thérapeutiques qu'engendre la connaissance de leur action, d'étendre à un rayonnement les résultats obtenus avec un autre. En particulier, lorsqu'un fait nouveau a été mis en évidence après l'action des rayons X, rien ne permet de l'attribuer au radium et inversement. C'est pourquoi, ayant entrepris des recherches sur l'action biologique des rayons X, je n'ai pas tenu compte des travaux faits sur le radium, sauf dans l'étude de quelques points spéciaux où ces diverses radiations ont été expérimentées simultanément

Certains auteurs ont même poussé ce raisonnement plus avant en ce qui concerne les rayons X eux-mêmes. Dognon (60) écrit, en effet : « Il n'est nullement certain que la variation de l'action biologique en fonction de la longueur d'onde soit la même et de même signe dans toute l'étendue du spectre des rayons X. Il n'est pas non plus évident que l'action biologique d'une radiation homogène soit identique à celle d'un rayonnement hétérogène de même longueur d'onde efficace ». Cet auteur a irradié des œufs d'Ascaris avec des rayons X de 0,22 ; 0,70 et 1,54 U. Å. Il conclut de ses essais : « A énergie absorbée égale (l'ionisation étant directement utilisée comme mesure de l'énergie), l'action biologique sur l'œuf d'Ascaris, de radiations de longueurs d'onde différentes, n'est pas constante ; elle passe par un minimum dans la région de $\lambda = 0{,}70$ U. Å. et se relève dans la région des courtes et très grandes longueurs d'onde ». Ces résultats interprétés différemment par Dauvilliers (54) et inverses de ceux qu'Holthusen (84) a obtenu sur le même objet, ont conduit l'auteur à formuler, entre autres, l'hypothèse

suivante : « Il pourrait exister, dit-il, deux modes d'action distincts « des rayons, croissant à partir du minimum observé, l'un vers les « courtes, l'autre vers les grandes longueurs d'onde. La courbe ob- « servée est simplement la résultante de deux fonctions variant « en sens inverse l'une de l'autre ».

Vu ces diverses considérations, j'aurais désiré effectuer le travail qui va suivre avec un rayonnement X monochromatique, mais les difficultés matérielles rencontrées ne me l'ont pas permis. J'ai cependant essayé de prendre, dans le domaine des radiations, la bande la plus étroite possible en utilisant toujours le rayonnement issu d'une anticathode de même métal, le tube Coolidge, dont je me servais, fonctionnant toujours sous le même potentiel.

Les recherches que j'ai effectuées ont trait uniquement à l'action des rayons X sur les plantes. J'ai cependant été amenée à signaler, chemin faisant, certains travaux entrepris sur des tissus animaux ou des tumeurs. Je ne l'ai fait que dans la stricte limite nécessaire, pour poser les problèmes, dont j'ai cherché la solution chez les plantes, et le lecteur ne doit pas s'attendre à trouver dans ce travail une bibliographie de l'action des rayons X sur les tissus vivants en général.

Les rayons X ont fait, dès leur découverte en 1896, l'objet de recherches biologiques. Dès cette même année, divers auteurs tels que Schober (199) et Muller étudièrent la réaction des plantes à une irradiation ; la nocivité des rayons échappa à leurs investigations. De même, l'utilisation en médecine du rayonnement X pour le diagnostic de certaines affections ne mit pas, tout d'abord, en évidence son effet lésant. Mais des recherches ultérieures, poursuivies dans les divers domaines de la biologie, firent rapidement apparaître l'action nocive qu'il exerce sur les cellules vivantes, action nocive que les thérapeutes s'empressèrent d'appliquer à la destruction des cancers. Des travaux de tous ordres furent ensuite entrepris sur l'action biologique des rayons X, et de nombreux auteurs ont alors cherché à expliquer le mécanisme de leur action. Les théories qu'ils ont élaborées sont de diverses natures. Les unes sont d'ordre chimique, d'autres d'ordre physique ; certaines prennent pour base des hypothèses physico-chimiques, d'autres enfin des hypothèses d'ordre énergétique. Je rappellerai brièvement ces diverses théories.

**1° Théories chimiques.** — La première de ces théories est celle dite de la choline. Elle a été émise, en 1905, par Werner (233). Cet auteur admettait que les rayons X libéraient la choline de la lécithine, choline qui déclenchait les modifications biologiques. Cette hypothèse était basée sur le fait qu'une injection de choline

produisait des réactions identiques à celles que l'on constatait après une irradiation. Cette théorie est maintenant délaissée, elle n'est pas susceptible d'expliquer tous les phénomènes observés après l'action des rayons X.

D'autres auteurs, parmi lesquels Kok et Vorländer (114), Barmann et Linser, supposent que les rayons X détruisent de nombreux complexes cellulaires très sensibles et donnent ainsi naissance à des substances toxiques, charriées par la circulation sanguine. Kok et Vorländer ont émis cette hypothèse après avoir constaté qu'une irradiation totale de la Souris avec une faible dose de 50 E produit, au niveau des cellules de la peau, des réactions tout à fait analogues à celles qui se manifestent après une irradiation locale faite avec une forte dose de 200 E.

En accord avec cette manière de voir, Caspari (44) admet qu'après l'action des rayons X, il pourrait s'effectuer des dégradations de matières albuminoïdes aboutissant à la production de nécrohormones. C'est par leur existence que l'auteur explique l'accroissement intensif de certaines tumeurs après irradiation. Il suppose, en effet, que par la destruction de certaines parties de la tumeur, se produiraient des nécrohormones agissant sur d'autres parties de la tumeur, moins lésées, et occasionnant un développement excessif de ces tissus ; l'excitation serait d'ailleurs susceptible de s'étendre aux tissus sains environnants.

Hans Meyer (145) écrit, en 1924, que l'effet des rayons X sur les cellules ne se conçoit que par l'interaction de divers facteurs. Il signale, en premier lieu, une action possible des rayons X sur les ferments. Ceux-ci pourraient voir leur efficacité diminuée ou détruite par une irradiation, ce qui entraînerait, dans ces conditions, la mort de la cellule. Hans Meyer ajoute que s'il a été facile de montrer l'influence nette de la lumière sur les ferments, il est plus malaisé de prouver, in vitro, l'effet des rayons X sur ces corps. Wels (230) cependant est parvenu à paralyser leur action ; ce n'est toutefois qu'à l'aide de très fortes doses, alors qu'in vivo, il suffit d'en utiliser de plus faibles pour déclencher une réaction. La constatation de ces faits a conduit l'auteur à envisager d'autres possibilités d'action. Il a émis, comme nous le verrons plus loin, une hypothèse d'ordre photochimique.

**2° Théories physiques.** — Les théories physiques émises pour tenter d'expliquer l'action biologique des rayons X sont de diverses natures. Les unes envisagent une action possible sur les colloïdes de la cellule. Les autres attribuent aux rayons X, soit une action

électrolytique, soit un effet thermique, soit enfin une action électronique.

a) *Action sur les colloïdes.* — Strauss (212) a expliqué, en 1922, l'action biologique des rayons X par leur effet sur les colloïdes de la cellule, en faisant intervenir la tension superficielle du milieu. Il a noté aussi que l'irradiation diminue la teneur en cholestérine du sang ; il ajoute que, dans la membrane cellulaire, la cholestérine et la lécithine sont deux substances antagonistes, et que la perméabilité cellulaire est d'autant plus faible qu'est plus petite la teneur en lécithine. Il conclut que, si les rayons X font diminuer la teneur en cholestérine, il s'ensuit une perméabilité plus grande de la membrane, la lécithine pouvant mieux agir et que, dans ces conditions, l'action des rayons peut s'expliquer par une rupture de l'équilibre osmotique de la cellule.

b) *Action électrolytique.* — Parmi les hypothèses physiques, la théorie de l'ionisation a été depuis longtemps mise en cause. Elle a fourni d'autant plus facilement matière à discussion que certains auteurs ont envisagé l'ionisation telle qu'elle a lieu dans les liquides, d'autres, l'ionisation telle qu'elle se produit dans les gaz.

Aschkinas et Caspari (30) ont, en 1901, émis l'hypothèse que les rayons X pourraient avoir une action dissociante électrolytique. Des expériences réalisées par Dessauer, Janitsky et Liesang (55) n'ont montré aucune modification de l'état électrolytique après une irradiation faite sur des électrolytes forts et faibles de différentes sortes. Holthusen (88) signale que ces résultats ne doivent pas surprendre ; il faudrait, dit-il, pour que les rayons puissent influencer le degré de dissociation, qu'ils modifient la constante de dissociation ; or, ils ne pourraient y parvenir qu'en passant par un échauffement ou une réaction chimique. Il ajoute qu'on admet plus généralement que le mécanisme de l'action biologique des rayons X s'explique, non par des modifications de conductibilité électrique, mais par la libération d'un grand nombre d'électrons sur le trajet d'absorption des rayons. Cependant beaucoup d'auteurs ne considèrent pas ce phénomène comme le facteur essentiel de la réaction biologique des rayons, mais il n'en a pas moins servi de base à d'autres théories que nous allons maintenant envisager.

c) *Action thermique.* — En 1923, Dessauer (55-56-57-58) a émis une théorie qu'il dénomma : « Punktwärme-Theorie » et qui créa, au cours de ces dernières années, un certain mouvement en Allemagne. Elle est basée sur les deux faits suivants :

1° La quantité d'énergie occasionnant une lésion grave est infiniment petite ; elle est égale à quelques calories grammes.

2° Il ne se produit lors d'une irradiation aucune modification électrolytique dans des solutions d'électrolytes faibles ou forts, même en présence de colloïdes.

Dessauer a tiré de ces faits que « l'action biologique des rayons X s'explique par une action mécanique dans la molécule ». Il croit, en effet, que lors de l'absorption des rayons X, il y a émission d'électrons. Ceux-ci, brusquement arrêtés, perdent l'énergie dont ils sont animés, laquelle se convertit en chaleur. Cette chaleur produite par la perte d'énergie des électrons ne serait pas suffisante pour amener des phénomènes de destruction, car l'énergie totale est faible, mais Dessauer admet que l'effet reste localisé quelque temps sur le complexe petit où s'est perdu la vitesse de l'électron ; dans ces conditions, dit-il, la température peut dépasser cent et même mille fois la température environnante. Il se forme des petits foyers de coagulation, des points de chaleur, des « Punktwärme ». Pour Dessauer, les phénomènes biologiques commencent à ce moment : il y aurait, en particulier, désintégration des matières albuminoïdes. Pour mieux faire saisir son hypothèse, Dessauer use d'une image. Il compare l'action des rayons à un orage qui sévit sur un large espace ; seuls sont détruits les points où tombe la foudre. De même pour les rayons, il n'y a destruction des molécules que là où l'électron est brusquement arrêté. Cette théorie a rencontré des adeptes (Caspari (44), Nakashima (155)), mais elle a soulevé de très nombreuses critiques (Holthusen (88), Opitz (157), Bier, Strauss (213), Hochfelder, Voltz (56). Heidenhain (79), Fernau (64), sur lesquelles je ne puis m'étendre ici, mais dont l'ensemble ne laisse à cette théorie que très peu de vraisemblance.

d) *Action électronique.* — Pordes (168), en 1923, a émis l'hypothèse que les rayons X provoquent une lésion mécanique. Ils arrachent des électrons, ce qui détermine un désordre dans la structure cellulaire. Le trouble qu'ils produisent est d'autant plus grand que la structure cellulaire est plus labile.

Heidenhain (79), puis Caspari (43) ont critiqué cette manière de voir. Heidenhain la considère comme une pure dialectique. Caspari trouve qu'elle n'exprime pas l'état final, et il ajoute qu'il est impossible d'admettre la persistance d'une ionisation en milieu colloïdal.

Divers auteurs, tels que Joly, Barclay, Friederich, Voltz, Trillat, Liechti (137) envisagent la possibilité

d'expliquer l'action biologique des rayons X par l'effet du rayonnement secondaire corpusculaire prenant naissance lors de l'arrivée des rayons X primaires dans les tissus. Trillat (217, 218, 219) a pu montrer que des rayons de courte longueur d'onde agissent peu sur des cultures de Bacillus prodigiosus, alors que les rayons secondaires qu'ils engendrent, en rencontrant une paroi métallique, stérilisent la culture ; en déviant, à l'aide d'un champ magnétique intense, les électrons issus du métal, l'auteur a prouvé que c'est à ces derniers plutôt qu'au rayonnement de nature ondulatoire qu'il faut attribuer l'action du rayonnement secondaire. Pour transposer aux tissus vivants ces résultats obtenus avec des radiateurs métalliques, il apparaît nécessaire d'entreprendre de nouvelles expériences.

Tout récemment (1928-1929), Holweck (92, 93), étudiant en collaboration avec Lacassagne (127 128) l'action bactéricide des rayons X de 8 et 4 Angströms, explique leurs effets biologiques à l'aide d'une interprétation quantique. Il a calculé qu'il est « impossible de considérer l'énergie comme uniformément « absorbée par tous les microorganismes », car le nombre de quanta absorbés en moyenne par un microbe, pour modifier l'aspect de la culture ou même la stériliser totalement, serait d'un ordre beaucoup trop petit. Il arrive à la conclusion que les variations dans l'intensité de l'action bactéricide, en fonction de la longueur d'onde, sont liées à celles du nombre de quanta absorbés par le bacille et nécessaires pour le tuer. Holweck dit en effet : « Lorsqu'on irradie du bacille « pyocyanique au moyen de rayons de 4 U. A. un seul quantum « est suffisant pour tuer », alors que « lorsqu'on utilise des rayons « de 8 U. Å., quatre quanta, au moins, sont nécessaires pour « tuer le même bacille ».

3° **Théories physico-chimiques.** — De nombreux auteurs (Wolfers, Petry, Hans Meyer, Holthusen) considèrent que l'action biologique des rayons X doit s'expliquer par des réactions photochimiques.

Wolfers [155] croit qu'ils déterminent un effet ionisant, puisqu'à la suite de la recombinaison des ions, se produisent des réactions photochimiques. Pour Petry (162, 163, 164, 165), l'irradiation déterminerait l'oxydation d'une substance photosensible, grâce à la présence des peroxydes contenus dans les cellules. Hans Meyer [145], pense que les rayons X seraient susceptibles de dégrader certaines substances photosensibles et de former des corps d'une très grande affinité chimique. Pour Holthusen [88], l'action

des rayons provoquerait l'ionisation telle que Bohr l'a conçue. Il y aurait déplacement des électrons avec retour possible à l'état antérieur et émission de rayons fluorescents. En outre, il existerait une relation de cause à effet entre l'ionisation et la réaction photochimique. L'auteur invoque, à ce propos, les conclusions de Lind et les expériences de Franck. Lind admet, en effet, que l'intensité des réactions photochimiques est proportionnelle au nombre d'électrons arrachés. Franck a montré, d'autre part, que la molécule d'hydrogène est scindée en présence de vapeurs de mercure par l'énergie fournie par de la lumière de longueur d'onde donnée ; la présence de mercure est indispensable, il joue le rôle de sensibilisateur. Holthusen considère cette réaction comme une preuve très nette de la nécessité d'une substance sensibilisatrice dans les phénomènes photochimiques. Il n'émet toutefois pas d'opinion sur la nature de cette réaction photochimique.

4° **Théorie énergétique.** — Chantraine (46) a tenté d'expliquer, en 1924, l'action biologique des rayons X par la conception suivante : La cellule exécute un travail moyen quotidien ; elle est susceptible de fournir un travail maximum que l'auteur dénomme limite de charge. Les rayons X ont la propriété de diminuer la limite de charge jusqu'au-dessous du travail quotidien. Il s'ensuit que le travail quotidien devient une cause de lésion, qui diminue, à son tour, la limite de charge, et il y a mort cellulaire.

Comme on le voit, toutes ces théories font appel aux propriétés connues des rayons X et ne sont que des essais plus ou moins justifiés d'applications de ces propriétés à la substance vivante. Dans l'état actuel de nos connaissances sur la structure et sur la physiologie cellulaires, elles ne paraissent guère susceptibles de nous fournir la solution définitive du problème.

Une cellule étant essentiellement constituée par un noyau et une masse cytoplasmique, une des premières questions qui se pose, lorsqu'on étudie le mécanisme de l'action biologique des rayons X, est de savoir comment réagissent à une irradiation ces deux parties essentielles de la cellule. Des auteurs comme Perthes (159, 160), Koernicke (106, 107, 108, 109), Regaud, Mottram (150), etc... ont entrepris des examens microscopiques des tissus irradiés ; ils ont observé des lésions des cellules en caryocinèse et ont été amenés à penser que le noyau en division était plus sensible que le protoplasme. D'autre part, ayant constaté, sur des cellules au repos, que le noyau appa-

raissait plus lésé que le cytoplasme, on en a conclu que la chromatine était la substance cellulaire hypersensible. Regaud et Blanc (174) écrivent en effet : « Des parties constituantes de la cel-« lule, c'est la chromatine qui nous paraît le plus sensible aux rayons « X. Cette conclusion est aussi celle que Bohn et Koernicke « ont tiré de leurs expériences avec le radium ou les rayons X : elle « découle de tous les faits observés et doit être tenue pour certaine. « A notre avis, les degrés très divers de sensibilité des cellules aux « rayons X dépendent non pas des conditions physiologiques, dans « lesquelles se trouvent les cellules au moment de l'irradiation, mais « essentiellement des modalités physiques ou chimiques de la chro-« matine ; ces modalités sont d'ailleurs elles-mêmes en rapports, « mais en rapports variables, avec les conditions physiologiques ». Ces auteurs pensent que la chromatine est plus sensible que le cytoplasme, parce que les cellules en mitose montrent des lésions quand les cellules au repos n'en présentent pas. Voyant la chromatine prendre des aspects morphologiques différents au cours de la mitose, ils concluent que ces différences d'aspect correspondent à des variations de structure, causes elles-mêmes des modifications de sensibilité. On pourrait cependant admettre qu'au cours de la mitose, ce n'est pas seulement la structure du noyau qui change mais aussi celle du protoplasme. De plus, certains auteurs, tels que Amato (6), G. Jansson (97), Gassoul (69), Lasswine (131), ayant remarqué, chez des cellules irradiées, des lésions cytoplasmiques, il est possible de se demander, si l'opinion précédente n'est pas due tout simplement à ce que les lésions du noyau sont beaucoup plus faciles à mettre en évidence que celles du protoplasme. Il s'ensuit que les observations microscopiques pratiquées sur des cellules irradiées ne peuvent permettre de trancher la question des sensibilités comparées du noyau et du cytoplasme ; elles sont suffisantes pour poser des hypothèses, mais, ici comme toujours, une expérimentation bien conduite, spécialement adaptée à la solution du problème est seule capable d'autoriser des conclusions fermes.

Les expériences de ce genre effectuées jusqu'ici sont encore très peu nombreuses. Je rapporterai, tout d'abord, les essais entrepris par P. Reiss (184). Cet auteur a cherché à reproduire avec les rayons X les expériences de Günther Hertwig (82, 83), faites à l'aide de radium. Hertwig a exposé des œufs vierges de Grenouille au rayonnement du radium, puis les a ensuite fécondés avec du sperme normal. Il a observé que les lésions manifestées par les embryons obtenus étaient tout d'abord proportionnelles

aux doses, puis diminuaient ensuite. Il en conclut que ces lésions embryonnaires sont dues à celles du pronucleus femelle. Lorsque ce dernier a été suffisamment touché, pour ne plus prendre part à l'évolution de l'embryon, seul le pronucleus mâle intervient alors, assurant par parthénogénèse un développement meilleur que celui résultant de l'union du pronucleus mâle intact au pronucleus femelle plus ou moins fortement lésé par le radium.

Reiss a irradié des œufs vierges d'Oursins avec une dose de 5 H ; de quart d'heure en quart d'heure, un lot a été prélevé, puis l'auteur a fécondé les œufs avec du sperme normal et en a suivi le développement. Il conclut de l'ensemble de ses expériences : « Si « nous nous basons sur les recherches d'Hertwig, nous voyons « que pour les radiations du radium, après la mort rapide du noyau, « le cytoplasme reste encore longtemps suffisamment intact, pour « permettre un bon développement par un mécanisme parthénogéné- « tique. Avec les rayons X, par contre, l'écart entre les avortements « attribuables à une lésion du noyau et ceux dus à une lésion du « cytoplasme est considérablement plus petit. Pour nos expériences, « le rapport des sensibilités du cytoplasme et du noyau serait de « 18 : 1, pour le radium, et de 3,8 : 1, pour les rayons X ».

Les recherches de Vintemberger (222-223) ont été faites sur l'œuf de Grenouille rousse au stade de deux blastomères. La grande taille des deux cellules qui le constituent et la disproportion considérable existant entre le volume de leur abondant cytoplasme et celui de leur minuscule noyau les ont fait considérer par cet auteur comme un objet de choix pour l'étude des rôles respectifs du noyau et du cytoplasme en tant que facteurs de la radiosensibilité cellulaire. Dans une première série d'expériences, Vintemberger a protégé la région nucléaire par une petite barre de plomb ; l'irradiation portait donc seulement sur le cytoplasme. Dans une deuxième série d'essais, il a employé un dispositif inverse du précédent, masquant par des lames de plomb la majeure partie du protoplasme et ne laissant arriver les rayons que sur la zone nucléaire. L'auteur conclut de la façon suivante : « Nous pouvons donc dire que, dans les con- « ditions expérimentales où nous nous sommes placé, seul le noyau « de la cellule est sensible à l'action des rayons X ».

Les recherches de Vintemberger ont été faites pendant l'intercinèse ; ses conclusions ne sont donc valables que pour des cellules au repos. Personne n'ayant jusqu'ici étudié la sensibilité comparée du cytoplasme et du noyau au cours de la division, la ques-

tion des sensibilités comparées du noyau et du protoplasme n'est donc pas encore définitivement résolue et toute conclusion ferme à ce sujet paraît encore prématurée.

En définitive, le grand problème du mode d'action des rayons X sur les cellules vivantes ne semble pouvoir trouver sa solution qu'à la suite de nouvelles recherches expérimentales, les unes ayant pour objet de préciser l'effet de ces rayons au point de vue purement physique, les autres étudiant leur différence d'action selon la structure cellulaire et l'intensité des échanges dans une même cellule, d'autres enfin envisageant les résultats produits par l'irradiation des diverses parties de la cellule, dans les conditions variables réalisées par les manifestations de leur activité vitale. Il m'est, dès lors, apparu plus utile de chercher à découvrir des faits relatifs à l'action biologique des rayons X que d'essayer de dépasser ceux qui sont connus par des hypothèses nouvelles. C'est ainsi que j'ai pu mettre en évidence un phénomène radiophylactique dont l'existence apporte des données nouvelles sur le mode de réaction des cellules à l'action des rayons X.

Avant d'exposer les résultats de mes recherches, je tiens à exprimer à mes Maîtres de la Faculté des sciences mes sentiments de profonde gratitude pour l'enseignement qu'ils m'ont donné et la bienveillance qu'ils m'ont toujours témoignée.

Ma reconnaissance s'adresse tout particulièrement à mon Maître, Monsieur le Professeur Terroine, auquel je suis heureuse de manifester ici mes sentiments de respectueuse sympathie.

Je tiens également à assurer de ma vive reconnaissance Messieurs les Professeurs Vlès et Chermezon pour les conseils qu'ils ont bien voulu me donner dans la réalisation de ce travail.

Je prie M. le Docteur Reiss, préparateur de Physique biologique à la Faculté de Médecine de Strasbourg, de trouver ici l'expression de mes sincères remerciements pour la détermination qu'il a bien voulu faire de la qualité du rayonnement que j'ai utilisé.

Je remercie aussi mon père, Monsieur le Professeur Ancel, de m'avoir donné le sujet de cette thèse et de m'avoir dirigée au cours de cette longue recherche.

# TECHNIQUES

J'envisagerai successivement la technique qui concerne les irradiations et celle qui a trait au choix et à la culture des plantes.

## I. — Technique des irradiations.

Toutes les expériences que j'ai entreprises ont été effectuées avec le même appareil dont je donnerai tout d'abord les caractéristiques. Je décrirai ensuite les méthodes de dosages des rayons que j'ai utilisées. J'indiquerai en dernier lieu la qualité du rayonnement X employé.

### 1. — Appareil producteur de rayons X.

L'appareil dont me je suis servie est un dispositif de Reiniger, Gilbert et Schall modifié. On utilise le courant alternatif du secteur de 120 volts et 50 périodes ; la consommation est de 8 à 9 ampères pour obtenir dans l'ampoule un courant de 2 1/2 milliampères sous 23 cm. d'étincelle équivalente aux bornes du transformateur. Le courant alimentant le transformateur passe par un interrupteur à jet de mercure faisant 1500 tours par minute. Une phase du courant de haute tension ainsi obtenue est arrêtée par un dispositif d'éclateur entre pointe et plaque. L'éclateur est intercalé entre le spintermètre et l'ampoule. Les rayons X sont produits dans une ampoule Coolidge à anticathode en tungstène et chauffage assuré par un transformateur isolé. La distance objet-anticathode a été habituellement de 28,2 cm. Toutefois, dans certaines expériences faites dans des buts spéciaux, pour l'étude de la dose dispersée, par exemple, la distance objet-anticathode a pu atteindre jusqu'à 80 cm. Dans d'autres essais, l'intensité, elle aussi, a été soumise à des variations ; de 3 ou 4 milliampères, dans certains cas, elle est descendue jusqu'à 0,3 et 0,4 milliampère. J'ai d'ailleurs insisté sur ces variations dans le cours de mon travail, aussi bien dans les Tableaux d'expériences que dans la présentation de mes résultats. J'ai vérifié que, dans ces nouvelles conditions, la variation du milliampérage n'a pas été accompagnée d'une modification de la différence de potentiel.

## 2. — Dosage des Rayons.

La méthode de dosage des rayons a varié au cours de mon travail. Ayant commencé ces recherches en juillet 1924, j'ai utilisé, à ce moment, comme méthode de mesure celle qui était le plus couramment employée, c'est-à-dire la mesure en unités H, mesure biologique basée, comme on le sait, par Holzknecht, sur l'érythème de la peau irradiée, puis, par Saboureaud et Noiré, sur l'effet dépilatoire. Dans mes expériences, j'ai utilisé le procédé de Saboureaud consistant à irradier une pastille de platino-cyanure de baryum de couleur jaune vert jusqu'à ce qu'elle prenne une teinte brune nettement définie appelée teinte B, l'obtention de ce résultat équivalant, dans la notation en H, à une dose de 5 H. Dans les conditions d'irradiation précédemment décrites, cette dose était obtenue en 5 minutes.

J'ai, dans la suite, utilisé comme appareil de mesure l'ionomètre de Solomon. Tous les dosages que j'ai effectués avec cet appareil ont été faits au cours de l'irradiation, la chambre ionométrique étant placée à côté des plantes à irradier. J'ai pris grand soin de disposer les lots de graines ainsi que l'appareil de mesure dans un espace assez restreint, pour que la dose reçue soit la même en tous les points. J'ai vérifié que cette condition était bien remplie en utilisant l'ionomètre lui-même. Les doses de rayons appliquées aux plantes ont été notées en unités R, l'unité R étant définie par Solomon : « L'intensité d'un rayonnement de Roentgen produisant la même ionisation à la seconde qu'un gramme de radium-élément placé à deux centimètres de la chambre d'ionisation, d'axe en axe, et filtré sur 0,5 mm. de platine »[1]).

Enfin, pour certaines expériences, plus précises, que j'ai eues à réaliser dans la dernière période de mes recherches, il m'a semblé nécessaire de me mettre à l'abri de toute cause d'erreur qui pouvait être apportée par un appareil de mesure, et je ne me suis plus servi de l'ionomètre de Solomon que pour établir l'ordre de grandeur

---

[1]) On sait que l'unité R allemande est une unité électrostatique définie par la mesure de « la quantité d'énergie radiante qui provoque, en irradiant 1 cm. d'air à 18° et à 760 mm. de pression atmosphérique, à utilisation complète de tous les électrons produits dans l'air et à exclusion de tout effet de paroi, une conductibilité telle que la quantité d'électricité mesurée à courant de saturation est égale à 1 unité électrostatique ». (Voir à ce sujet : Gunsett, 77.)

de la dose appliquée aux plantes. Lorsque je relaterai ces expériences j'indiquerai la façon dont j'ai procédé.

### 3. — Détermination de la qualité du rayonnement X utilisé.

Elle a été faite à l'aide des deux procédés suivants :

1° *Mesure des caractéristiques d'absorption dans l'aluminium et le cuivre.* — Dans ce but, on mesure les épaisseurs d'aluminium et de cuivre nécessaires pour réduire de moitié l'intensité du rayonnement primitif (Halbwertschicht des Allemands). On trouve 1,3 mm. d'aluminium et 0,4 mm. de cuivre.

2° *Spectrographie.* — Le spectre du rayonnement a été effectué avec un spectrographe de Seemann. Le spectrogramme montre le doublet K du tungstène (0,18 et 0,21 unité Angström) comme constituant le plus intense du rayonnement utilisé et un fond continu limité vers les courtes longueurs d'onde par 0,13 Å., ce qui correspond à une tension maxima aux bornes du tube de 95 K. V. Vers les grandes longueurs d'onde, le spectre semble limité sans aucun filtrage, par la longueur d'onde 0,25 Angström. (Fig. 14, Pl. II.)

Toutes les conclusions que je tirerai dans ce travail seront donc relatives aux propriétés des rayons X s'étendant de 0,13 à 0,25 Angström.

## II. — Technique concernant le choix et la culture des plantes.

J'ai limité les expériences que j'ai effectuées sur les végétaux à l'étude de l'action des rayons X sur les premiers développements de la plante. A cet effet, j'ai expérimenté sur des graines tantôt sèches, tantôt en voie de germination, les germes les plus grands dont je me suis servie n'ayant jamais dépassé 70 mm. de longueur de racine. Mes essais ont été faits sur des graines de Panicum miliaceum, Lepidium sativum, Brassica napus, Triticum sativum, Lens esculata (variété d'Espagne), Phaseolus vulgaris (Haricots : noirs de Belgique, soissons, flageolets verts). D'autre part, j'ai, dans un certain nombre d'expériences, utilisé des bulbes d'Allium cepa dans le but d'observer l'effet des rayons sur les racines de cette plante ; ils ont été irradiés lorsque les racines atteignaient 20 à 70 mm. de longueur.

### 1. — Mise en développement.

Les graines ont été mises en germination entre deux feuilles de coton de un centimètre d'épaisseur environ dans de grandes cuves plates émaillées ou en verre. Le coton a été mouillé avec de l'eau

de la conduite puis égoutté, de manière à ce qu'une très légère pression ne fasse plus écouler de liquide. Les haricots soissons ont été au préalable trempés dans l'eau pendant 6 à 10 heures. Les graines ont été maintenues à la température du laboratoire, 18° à 20° en moyenne. Cependant, il est des expériences où les germinations ont été faites dans une étuve électrique réglée à 30° ; d'autres ont eu lieu à 12°–14°. J'ai, au cours de mon travail, mentionné ces cas particuliers. D'une manière générale, j'ai pu constater que la germination s'effectuait de façon différente suivant les espèces, l'apparition du germe se faisant très irrégulièrement chez un grand nombre de graines. Elle s'est toujours montrée beaucoup plus homogène pour les lentilles et les haricots verts ainsi que j'aurai l'occasion de le faire remarquer en particulier au chapitre Ier. Dans les conditions de mes expériences, les haricots et les lentilles étaient germées après trente heures environ de séjour dans le coton humide.

Les bulbes d'oignons ont été placés sur des fioles coniques remplies d'eau ou sur des lamelles de bois flottant sur une grande cuve à eau comme je le décris ci-dessous ; ils ont été disposés, de manière à ce que le bulbe soit exactement en contact avec le liquide. Dans ces conditions, les racines sortent rapidement et plongent dans l'eau.

### 2. — Choix et nombre des plantes.

Les graines que j'ai utilisées ont été livrées par le même fournisseur ; elles provenaient de la récolte de l'année et étaient soigneusement triées. J'ai constaté, dès mes premiers essais, qu'il est nécessaire d'expérimenter sur le plus grand nombre d'objets possible, afin d'éviter les variations individuelles se manifestant au cours de l'évolution, même chez des plantes à croissance relativement très régulière. Dans ce but, j'ai effectué des expériences contenant un très grand nombre de semences. De plus, chaque essai a été formé de plusieurs lots témoins et irradiés. Chaque lot renfermait le plus grand nombre de plantes qu'il m'était possible d'irradier ensemble ; de 100 pour les petites graines, il est descendu à 50 pour les lentilles et à 30 pour les haricots. Dans les cas d'irradiation de graines germées, les expériences ayant été effectuées en général sur des haricots et des lentilles, chaque lot comprenait en moyenne 20 graines pour les haricots et 30 à 40 pour les lentilles. Lorsque les germes étaient de grande taille, il est des essais où les lots ne contenaient que 10 à 15 semences chacun.

D'autre part, les lots de graines germées ont toujours été constitués avec des plantes de même longueur de radicule. Ce choix a une grande

*

importance, comme j'aurai l'occasion de le mettre ultérieurement en évidence, la sensibilité variant, en particulier chez les lentilles, pour des longueurs de germe différentes (chapitre III). L'expérience m'a montré, ainsi qu'on pourra le constater au cours de mon travail, que des lots de lentilles d'Espagne germées, de même longueur de radicule, renfermant chacun 30 à 40 objets, croissent dans la suite de façon très similaire. On note bien des variations sensibles chez quelques exemplaires d'un même lot, mais elles s'annulent à peu près complètement dans le calcul de la moyenne d'accroissement des plantes. Les différences de croissance manifestées par les germes des divers lots sont, dans ces conditions, de très faible intensité. J'insiste donc sur le fait que pour obtenir des résultats satisfaisants dans une recherche de l'action des rayons X sur les plantes, il est nécessaire d'annihiler le plus possible les variations individuelles. On obtient ce résultat en utilisant des graines germées de même longueur de racine et un grand nombre de lots, renfermant chacun un grand nombre de plantes.

### 3. — Préparation des plantes à irradier.

A. — *Graines.* — Les graines à irradier ont été placées dans de petits cristallisoirs de 6 centimètres de diamètre. Les semences sèches étaient déposées directement dans le cristallisoir, les unes à côté des autres. Les graines gonflées ou germées étaient mises sur une lame de coton humide d'un centimètre d'épaisseur, recouvrant le fond du cristallisoir ; j'ai pris grand soin qu'aucune couche d'eau, si petite soit-elle, ne persistât sur le coton de façon à ce que les germes à irradier ne soient entourés d'eau dans aucune de leurs parties et particulièrement autour des pointes des racines qui apparaissent plus spécialement lésées après irradiation. Cette précaution est nécessaire, l'eau ayant, comme on le sait, un coefficient d'absorption variable avec la longueur d'onde. Elle constitue ainsi un filtre qui, s'il absorbe moins les rayons X qu'un métal, comme l'aluminium ou le cuivre, par exemple, en retient cependant une quantité notable. Ainsi, d'après Richtmyer, pour les longueurs d'onde de 0,35 A à 0,43 Å, le coefficient d'absorption $\frac{\mu}{\rho}$ de l'eau passe de 0,179 à 0,394, alors que celui de l'aluminium varie de 0,193 à 1,285 et celui du cuivre de 0,59 à 12,3.

Les graines ont été déposées sur le coton humide, de manière à ne pas se cacher l'une l'autre, mais elles ont été suffisamment serrées pour en introduire le plus grand nombre possible.

Lorsque deux lots ont été irradiés en même temps, chacun d'eux occupait la moitié du cristallisoir ; ils ont été séparés l'un de l'autre par une étroite bandelette de coton.

Les cristallisoirs ont été placés sous l'appareil producteur de rayons toujours de même façon, un petit socle de bois, épousant leur forme et convenablement centré, étant fixé à la table d'irradiation.

Les irradiations ont été faites à la température de la pièce où se trouvait l'appareil à rayons X. Toutefois, dans certaines expériences, j'ai utilisé, pendant l'irradiation, soit une platine chauffante électrique, sur laquelle j'avais déposé le cristallisoir renfermant les graines, soit un récipient renfermant de la glace concassée, sur laquelle j'avais placé le cristallisoir contenant les semences. Dans un cas comme dans l'autre, un thermomètre maintenu à côté des germes indiquait la température.

Dans diverses expériences, j'ai été amenée à n'irradier que certaines parties des germes. Pour ce faire, j'ai soigneusement dissimulé sous de petites lamelles, découpées dans du caoutchouc plombé, les organes à protéger.

B. — *Oignons.* — Les irradiations des oignons ont été effectuées alors qu'ils possédaient 20 à 70 mm. de longueur de racine. Les racines de chaque objet ont été coupées à l'exception de deux. Les bulbes ont ensuite été placés sur du coton humide, les racines étant en contact direct avec lui et toutes dirigées vers le centre du coton occupé par la chambre ionométrique.

### 4. — Culture des plantes après irradiation.

Après irradiation, les graines sèches et gonflées sont maintenues entre coton humide, jusqu'à ce qu'elles aient atteint une longueur de germe de cinq millimètres environ. A ce moment, les plantes d'un même lot sont disposées sur une mince réglette de bois percée de trous, de manière à ce que la racine de chaque objet puisse passer par l'orifice et que les cotylédons restent sur la lame de bois. Les réglettes sont toutes disposées sur une grande cuve à eau, en lave, longue de 110 cm., large de 57 cm., haute de 20 cm. et placée devant une grande baie vitrée. Ces étroites lames sont maintenues flottantes, à l'aide de deux contrepoids de verre suspendus par des ficelles aux deux extrémités de la réglette, de manière à ce que les racines seules plongent dans l'eau. Ce dispositif permet aux plantes de suivre les légères variations de niveau qui peuvent se produire dans la cuve. J'ai préféré utiliser de la ficelle plutôt que des fils métalliques fins et souples, qui présentent sur cette dernière l'avantage d'être im-

putrescibles, parce que j'ai craint d'introduire dans mes expériences un facteur susceptible de les troubler. Je signalerai, en outre, que les réglettes de bois, avant d'être employées ont été toutes plongées pendant plusieurs jours dans l'eau pour les débarrasser le plus possible des substances qu'elles pouvaient renfermer.

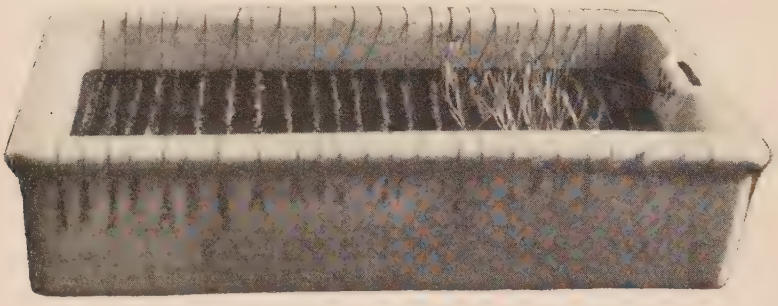


**Fig. I.**

J'ai dans la Figure 1 présenté une photographie de la cuve utilisée contenant des haricots en voie d'accroissement. Ce mode de culture s'applique également bien, et peut-être mieux encore, aux lentilles. Celles-ci croissent, en effet, très droit les unes près des autres, tout comme si elles poussaient en terre.

Les plantes sont ainsi cultivées sur eau, aux dépens de leurs réserves, tous les objets d'une même expérience étant placés dans les mêmes conditions à la température du laboratoire de 18° à 20° en moyenne. J'ai ainsi réalisé un procédé où la culture était aussi homogène que possible et de beaucoup préférable en ceci à l'emploi de terre ou de sciure de bois utilisées par la plupart des auteurs qui m'ont précédée.

Les graines de blé ont été cultivées sur du coton humide ; les radicelles s'enchevêtrent étroitement dans le coton et les feuilles croissent bien droit.

Les oignons ont été placés soit sur des fioles coniques ou des bouteilles remplies d'eau, soit sur des réglettes de bois dans la grande cuve, les racines seules plongeant dans l'eau.

Toutes les expériences ont été faites à la lumière, les plantes étant toujours placées aussi près que possible des grandes fenêtres du laboratoire. Toutefois, dans quelques essais, les germes ont été mis à l'obscurité. Pour ce faire, j'ai placé à côté de la grande cuve dont la photographie est donnée ci-dessus, une cuve en verre aussi haute

mais de longueur et de largeur moindres. Elle a été entourée d'un drap noir de manière à maintenir les plantes à l'obscurité mais à laisser circuler l'air librement.

### 5. — Mesures de croissance des plantes.

A. — *Époques des mesures.* — La croissance des plantes a été mesurée en moyenne 14 jours après l'irradiation. J'ai fait choix de cette date pour les deux raisons suivantes. Ayant remarqué au cours de mes premiers essais que la lésion causée par les rayons X ne se manifestait pas immédiatement, et qu'elle se marquait d'autant plus nettement que le temps écoulé après l'irradiation était plus long, j'ai été conduite à n'effectuer les mesures que le plus tardivement possible. Mais sachant, d'autre part, que la culture des plantes sur eau ne peut être impunément prolongée par suite de la digestion des réserves, j'ai limité la durée de la culture à une quinzaine de jours. Dans ces conditions expérimentales, les plantes n'ont pas eu à souffrir d'un défaut de nutrition, et le temps écoulé, après l'irradiation, a été suffisant, pour permettre à la lésion de se manifester nettement.

Je signalerai toutefois que, dans certaines expériences, faites dans des buts spéciaux, les mesures de croissance ont été effectuées plusieurs fois, ainsi qu'on pourra le constater au cours du travail. D'autre part, dans les expériences réalisées sur les oignons, les mesures d'accroissement ont été faites quotidiennement.

B. — *Organes mesurés et calculs de croissance.* — Les mesures ont été effectuées sur les racines, les tiges et les radicelles et, dans certains cas, sur les feuilles (blé) et les hypocotyles (haricots). Lorsqu'elles n'ont eu lieu qu'une seule fois, les plantes étaient retirées des réglettes de bois et appliquées sur un double décimètre ; il était alors aisé de mesurer l'accroissement de chaque partie du végétal. Lorsque les mensurations ont été effectuées plusieurs fois, les plantes ont été maintenues sur leur support et mesurées à l'aide d'un compas et d'un double décimètre. J'ai ainsi déterminé la longueur de la racine, de la tige, de l'hypocotyle, et du total des radicelles pour chaque objet. Ceci fait, j'ai totalisé pour chaque lot les longueurs des divers organes. Les chiffres obtenus, divisés par le nombre de plantes contenues dans le lot, fournissent les moyennes de longueur des différentes parties des plantes de ce lot. J'ai, dans certains cas, calculé le % de croissance par rapport aux témoins. Dans ce but, j'ai ramené à 100 l'accroissement des lots témoins et ai établi, par une règle de trois, la croissance correspondante des autres lots de l'expérience et ceci pour les divers organes des plantes.

Toutes les mesures de longueur ont été évaluées en prenant le millimètre comme unité.

### 6. — Conditions particulières d'expérience.

J'ai, dans certains essais, été conduite à dessécher soit des graines gonflées, soit des semences germées, la longueur des germes atteignant parfois jusqu'à vingt millimètres. Dans ce but, j'ai placé les graines sur du papier filtre et les ai laissées à la température du laboratoire perdre leur eau pendant une quinzaine de jours environ. Dans d'autres expériences, j'ai eu à conserver des graines irradiées sèches ou gonflées, puis desséchées ensuite, pendant plusieurs mois. Dans ce cas, j'ai maintenu les semences dans un récipient clos en lieu sec et à basse température (10° environ).

Telles ont été les conditions générales d'expérience que j'ai utilisées dans ce travail. Les détails spéciaux de technique seront indiqués au cours de l'exposé de mes recherches dans la relation de chacune d'elles.

---

Chapitre I.

## ÉTUDE DE L'ACTION BIOLOGIQUE DE FAIBLES DOSES DE RAYONS X

---

L'étude de l'action biologique des faibles doses de rayons X a fait l'objet d'un grand nombre de recherches. Beaucoup d'expérimentateurs leur reconnaissent le pouvoir d'augmenter la vitalité cellulaire. Pour les partisans de cette manière de voir, l'action biologique des rayons X suivrait la loi d'Arndt-Schultze : De faibles doses stimuleraient l'activité cellulaire, des doses moyennes la retarderaient, des doses fortes l'arrêteraient.

On sait aujourd'hui que cette loi, valable pour certains médicaments ou poisons, n'a pas de portée générale, et la question se pose de savoir, si elle est appliquable aux rayons X, et, plus particulière-

ment, si de faibles doses de rayons sont susceptibles d'augmenter la vitalité cellulaire.

Cette question présente un grand intérêt au point de vue de la connaissance du mode d'action des rayons. Elle a aussi une importance particulière en thérapeutique. De nombreux radiologues auraient observé une évolution plus rapide de tumeurs cancéreuses à la suite d'irradiations faites avec de faibles doses. D'autre part, certains auteurs ont signalé les bons effets de petites doses de rayons X dans beaucoup d'états pathologiques (ulcères, anurie, chlorose, anémie pernicieuse, hémophilie, tuberculose, diabète, urémie, fractures graves, etc.). On a expliqué ces faits par une action excitatrice des rayons sur les cellules des tumeurs, d'une part, et sur les cellules des organes en hypofonction, de l'autre.

Il apparaît donc utile de savoir, si les rayons X possèdent réellement, à faibles doses, une action excitante sur l'activité cellulaire.

L'expérimentation conduite sur des tissus ou organes complexes ne permet pas de trancher la question car les données qu'elle apporte manquent de précision. Il est, en effet, difficile dans ces sortes d'expériences, de constituer des témoins en nombre suffisant. L'étude du développement des graines ou des œufs irradiés autorise, au contraire, des conclusions plus certaines, car ceux-ci peuvent être placés avec de nombreux témoins dans les mêmes conditions d'évolution. En particulier, en ce qui concerne les plantes, il est aisé de cultiver ensemble des germes irradiés et témoins et de comparer la rapidité de leur croissance.

On a étudié à ce point de vue trois séries de phénomènes :

1° L'action de faibles doses de rayons X sur la vitesse d'apparition du germe ;

2° L'action de faibles doses de rayons X sur la vitesse d'accroissement des plantes ;

3° L'action de faibles doses de rayons X sur la vitesse de régénération des plantes préalablement lésées par un agent autre que les rayons.

J'envisagerai successivement, dans ce chapitre, l'étude de ces trois points.

En dernier lieu, je parlerai de quelques phénomènes, interprétés parfois comme résultats de l'action excitante des rayons, et que j'ai groupés sous le nom de phénomènes de pseudo-excitation.

## I. — ACTION DE FAIBLES DOSES DE RAYONS X SUR LA VITESSE D'APPARITION DU GERME.

### 1. — Historique.

Maldiney et Thouvenin (139.140), les premiers, recherchèrent si de faibles doses de rayons X étaient susceptibles de hâter la germination. Ils expérimentèrent sur trois espèces de graines : Convolvulus arvensis, Lepidium sativum et Panicum miliaceum. Leurs expériences, au nombre de sept, furent faites sur six graines dont trois servirent de témoins. Les plantes furent mises en germination dans « une légère couche de terre maintenue constamment « humide » et supportée par une bande de tricot de laine. Les auteurs notèrent une apparition du germe de quatre, cinq et même neuf jours plus précoce chez les graines irradiées que chez les graines témoins.

Dans la suite, Koernicke, en 1904 (106), signala que sur cent graines de Brassica napus soumises à l'action des rayons, la moitié en était germée trois jours avant celle des témoins. Il observa surtout ce phénomène chez les navets. En 1915 (111), cependant, résumant des expériences faites sur Vicia faba, il rapporte que pour les graines au repos, celles qu'il irradia fortement germèrent toujours plus tôt que les semences témoins ou que les graines plus faiblement irradiées, les doses les plus fortes étant de 10 x et les plus faibles de 1/50 de x (10 x = dose érythème). L'auteur indique que, dans les divers essais qu'il fit, le nombre des graines atteignait 200 à 300 mais sans noter le nombre d'expériences réalisées.

En 1923, Altmann, Rochlin et Gleichgewicht (5), expérimentant sur Phaseolus vulgaris, attribuent aux rayons X le pouvoir de hâter l'apparition du germe, quoique, ils en conviennent eux-mêmes, il n'y ait que de faibles différences entre les graines irradiées et les graines témoins. Leurs essais, au nombre de trois, ne comportaient que quatre lots de huit graines chacun et un lot témoin.

Komuro, 1924 (118), partage également l'opinion que les rayons X sont susceptibles d'accélérer l'apparition du germe. Il a expérimenté sur des graines d'Oriza sativa sèches ou gonflées. Sur six expériences, comprenant chacune trois lots de vingt graines et un seul lot témoin, il trouve une germination plus précoce de certains lots irradiés. Dans d'autres séries d'expériences, réalisées dans des conditions différentes d'irradiation, sur deux cents graines chaque fois, chaque essai comprenant deux lots, l'un irradié, l'autre témoin, les résultats sont beaucoup moins nets. Sur six expériences, deux semblent probantes, les quatre autres n'apportent pas de données précises.

Cette même année (15) sur plus de 16.000 graines de haricots, lentilles, navets, cressons alénois et millets, j'effectuai des expériences, dont le détail est donné ci-dessous. Je n'ai noté aucune accélération de la germination des graines irradiées.

C z e p a (51) expérimenta également sur de nombreuses graines de haricots, pois, cressons, fèves. Chaque expérience comprenait plusieurs lots irradiés avec des doses de rayons X différentes et un certain nombre de lots témoins. Dans une expérience faite sur des haricots, par exemple, l'auteur irradia huit lots de ces graines renfermant vingt objets chacun ; il les mit ensuite en germination avec six lots témoins. C z e p a ne constata, dans ces conditions, aucune accélération de la vitesse d'apparition du germe avec des doses de 1/4 de H à 300 H.

I v e n (96), partisan de l'excitation des rayons X sur le développement des plantes ainsi que nous le verrons plus loin, signale également que, dans ses expériences, l'effet excitant ne s'est jamais manifesté au moment de la germination.

On voit donc par cet historique que, jusqu'en 1924, période à laquelle j'ai publié les recherches que je détaille ci-dessous, les auteurs reconnaissaient aux rayons X le pouvoir d'accélérer l'apparition du germe. Les expériences que j'ai entreprises à cette époque sur l'action de faibles doses de rayons X ont montré qu'il n'en était rien. Les recherches de C z e p a et d'I v e n ont abouti à la même conclusion.

## 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites sur : Phaseolus vulgaris, Lepidium sativum, Brassica napus, Panicum miliaceum, Lens esculata.

La technique employée a été la suivante :

Les graines, destinées à une expérience sont divisées en 16 lots ; 8 servent de témoins, les 8 autres sont irradiés avec des doses différentes de : 1/12 ; 1/4 ; 1/2 ; 1 ; 3 ; 5 ; 10 ; 20 H, ce qui correspondait avec l'appareil dont je me suis servie, à des durées d'irradiation de : 5, 15, 30 sec. ; 1, 3, 5, 10, 20 min. Le nombre des graines que comprenait chaque expérience a varié suivant les plantes étudiées et sera indiqué dans la relation de chaque essai. Après irradiation, les graines sont placées entre deux feuilles de coton humide, dans des boîtes de Pétri, chacune de ces dernières renfermant un lot de graines irradiées et un lot de graines témoins. Le tout est ensuite porté à l'étuve à une température voisine de l'optimum de germination. On détermine, à intervalles espacés, le nombre de graines germées et établit le pour-

centage sur le nombre de graines mises en germination. Je détaillerai tout d'abord une expérience faite sur Phaseolus.

**Expérience 1.** — Cet essai comprenait 512 graines mises en germination après irradiation à une température de 27°. Les déterminations du nombre de graines germées ont eu lieu quatre fois : 24, 48, 72, et 86 heures après la mise à l'étuve. Les résultats sont relatés dans le Tableau I qui indique, pour chaque mesure, le nombre de graines germées dans chaque lot et le pourcentage de germination.

Dans divers lots, quelques flageolets n'ont pas germé et se sont putréfiés. Je n'ai naturellement pas tenu compte de ses objets dépourvus de faculté germinative, dans l'évaluation des pourcentages, puisque le but des expériences entreprises est de rechercher, sur des éléments sains, si les rayons X possèdent ou non une action accélérante sur la germination.

## TABLEAU I

| DOSES | MESURE I | | MESURE II | | MESURE III | | MESURE IV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| en unités H | Nombre de graines germées | % de graines germées | Nombre de graines germées | % de graines germées | Nombre de graines germées | % de graines germées | Nombre de graines germées | % de graines germées |
| 1/12 | 3 | 9.3 | 17 | 53.1 | 28 | 87.5 | 32 | 100.0 |
| 1/4 | 3 | 10.0 | 14 | 46.6 | 30 | 100.0 | 30 | 100.0 |
| 1/2 | 3 | 9.3 | 28 | 87.5 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |
| 1 | 4 | 12.5 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |
| 3 | 4 | 13.3 | 29 | 96.6 | 30 | 100.0 | 30 | 100.0 |
| 5 | 3 | 9.3 | 16 | 50.0 | 30 | 93.7 | 32 | 100.0 |
| 10 | 2 | 6.4 | 14 | 45.1 | 29 | 93.5 | 31 | 100.0 |
| 20 | 3 | 9.6 | 30 | 96.7 | 31 | 100.0 | 31 | 100.0 |
| Témoin 1 | 3 | 9.3 | 19 | 59.3 | 30 | 93.7 | 32 | 100.0 |
| Témoin 2 | 2 | 6.2 | 16 | 50.0 | 29 | 90.0 | 32 | 100.0 |
| Témoin 3 | 2 | 6.2 | 30 | 93.7 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |
| Témoin 4 | 3 | 9.3 | 31 | 96.8 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |
| Témoin 5 | 4 | 12.5 | 31 | 96.8 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |
| Témoin 6 | 3 | 10.0 | 5 | 16.6 | 29 | 96.6 | 30 | 100.0 |
| Témoin 7 | 0 | 0 | 21 | 67.7 | 31 | 100.0 | 31 | 100.0 |
| Témoin 8 | 6 | 18.7 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 | 32 | 100.0 |

De l'examen du Tableau I, il ressort que, parmi les flageolets irradiés, le lot irradié 3 min. présente, après 24 h. de germination, le plus grand nombre de graines germées ; le pourcent de germination est en effet de 13,3. Pour les témoins, le lot le plus favorisé est le lot 8 avec 18,7 de %. Il s'ensuit que le pouvoir germinatif des graines du lot irradié 3 min. n'a pas été excité puisque le lot témoin 8 renferme un plus grand nombre de graines germées. La même déduction s'impose pour les mesures faites les jours suivants. On voit immédiatement que, s'il n'avait été pris qu'un lot témoin, le lot 2 par exemple, il aurait été possible d'envisager une accélération de la germination chez un certain nombre de lots irradiés. La présence des 8 lots témoins montre que les variations observées, chez les irradiés, sont analogues à celles que manifestent les témoins. Il ne peut donc être question d'excitation.

Toutes les expériences que j'ai entreprises à ce sujet ont toujours donné des résultats de même sens. Elles sont résumées dans le Tableau II. J'ai mentionné dans ces Tableaux la nature des graines, leur nombre, la température, à laquelle elles ont été mises en germination, le nombre de mesures, les heures auxquelles elles ont été faites. Les Tableaux indiquent ensuite le % de graines germées dans les lots irradiés et les lots témoins, pour les différentes mesures effectuées.

Les résultats que renferment ces Tableaux mettent en évidence que :

1° *Pour les flageolets verts,* les faibles doses de rayons X utilisés n'ont pas accéléré la germination. Dans les trois expériences réalisées sur ces graines, le lot possédant le plus grand nombre de graines germées a toujours été un lot témoin.

2° *Pour le cresson alénois.* Dans la première expérience (expérience 4), lors de la première mesure, la moyenne la plus élevée appartient au lot irradié pendant une minute ; elle est de 61,2, tandis que la moyenne du lot témoin le plus fort atteint 57,3. Mais le lendemain, le lot irradié a perdu son avance, quatre témoins possédant un plus grand nombre de graines germées que lui.

En outre, lors de la deuxième mesure, le lot irradié 1/12 de H présente une moyenne de 96 alors que le témoin le plus avancé renferme 93,6 % de graines germées. Va-t-on en conclure qu'une dose de 1 H ou de 1/12 H excite les graines à germer?

Une deuxième expérience, recommencée (expérience 5) dans les mêmes conditions, montre encore une avance maintenue, cette fois pendant deux jours, pour le lot irradié 1 H, mais par contre le lot irradié 1/12 H ne peut plus être considéré comme excité le deuxième

## TABLEAU

| Expériences | Température | Plantes | Nombre de graines | Mesures | Heures des mesures | Lots irradiés : % de germination | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1/12 H | 1/4 H | 1/2 H | 1 H | 3 H | 5 H | 10 H | 20 H |
| 1 | 27° | Flageolets verts | 512 | 1 | 24 | 9.3 | 10 | 9.3 | 12.5 | 13.3 | 9.3 | 6.4 | 9.6 |
| | | | | 2 | 48 | 53.1 | 46.6 | 87.5 | 100 | 96.6 | 50 | 45.1 | 96.7 |
| | | | | 3 | 72 | 87.5 | 100 | 100 | — | 100 | 93.7 | 93.5 | 100 |
| | | | | 4 | 86 | 100 | — | — | — | — | 100 | 100 | — |
| 2 | 29° | Flageolets verts | 512 | 1 | 24 | 12.5 | 15.6 | 25 | 9.6 | 12.5 | 25 | 15.6 | 21.8 |
| | | | | 2 | 48 | 86.8 | 84.3 | 100 | 96.7 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | | | 3 | 72 | 100 | 100 | — | 100 | — | — | — | — |
| 3 | 29° | Flageolets verts | 240 | 1 | 24 | 40 | — | 10 | 60 | — | 25 | 5 | 15 |
| | | | | 2 | 48 | 100 | — | 100 | 100 | — | 100 | 100 | 100 |
| | | | | 3 | 72 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 21° | Cressons alénois | 1600 | 1 | 24 | 49 | 14 | 7.3 | *61.2* | 13.8 | 20 | 3.12 | 5.1 |
| | | | | 2 | 48 | *96* | 82 | 89.5 | 83.6 | 30.8 | 72 | 39.5 | 64.5 |
| | | | | 3 | 75 | 100 | 100 | 100 | 94.8 | 60.6 | 86 | 91.6 | 94.1 |
| | | | | 4 | 96 | — | — | — | 95.9 | 91.4 | 94 | 97.9 | 98.8 |
| | | | | 5 | 126 | — | — | — | 97.9 | 98.9 | 99 | 98.9 | 98.9 |
| | | | | 6 | 144 | — | — | — | 98.9 | 98.9 | 100 | 98.9 | 98.9 |
| | | | | 7 | 168 | — | — | — | 98.9 | 100 | — | 100 | 98.9 |
| | | | | 8 | 192 | — | — | — | 100 | — | — | — | 98.9 |
| | | | | 9 | 216 | — | — | — | — | — | — | — | 100 |
| 5 | 25° | Cressons alénois | 1600 | 1 | 24 | 3.2 | 0 | 8.9 | *50* | 1.0 | *44.4* | 1.0 | 0 |
| | | | | 2 | 48 | 32.2 | 28.8 | 15.8 | *84.7* | 31.6 | *53.5* | 17.0 | 59.6 |
| | | | | 3 | 72 | 40.8 | 34.0 | 16.8 | 88.7 | 61.2 | 64.6 | 44.6 | 80.8 |
| | | | | 4 | 96 | 47.3 | 60.8 | 45.5 | 94.9 | 83.6 | 79.8 | 65.9 | 91.9 |
| | | | | 5 | 120 | 62.3 | 81.4 | 65.3 | 97.9 | 96.9 | 90.9 | 81.9 | *98.9* |
| | | | | 6 | 144 | 79.5 | 89.7 | 97.0 | 98.9 | 100 | 95.9 | 95.9 | 100 |
| | | | | 7 | 168 | 87.1 | 100 | 100 | 100 | — | 98.9 | 100 | — |
| | | | | 8 | 192 | 98.9 | — | — | — | — | 100 | — | — |
| | | | | 9 | 216 | 100 | — | — | — | — | — | — | — |
| 6 | 25° | Cressons alénois | 1600 | 1 | 24 | 36 | 47 | 4 | 3.0 | 35.0 | 4.1 | 13.6 | 21 |
| | | | | 2 | 55 | 92 | 90.8 | 76 | 44.9 | 93.8 | 86.6 | 63.2 | 91 |
| | | | | 3 | 72 | 100 | 94.8 | 84 | 81.6 | 95.8 | 94.8 | 80.0 | 98 |
| | | | | 4 | 96 | — | 98.9 | 88 | 93.9 | 96.9 | 97.9 | 96.8 | 99 |
| | | | | 5 | 120 | — | 98.9 | 88 | 97.9 | 97.9 | 98.9 | 97.9 | 100 |
| | | | | 6 | 144 | — | 98.9 | 88 | 97.9 | 100 | 100 | 100 | — |
| | | | | 7 | 168 | — | 98.9 | 100 | 97.9 | — | — | — | — |
| | | | | 8 | 192 | — | 100 | — | 100 | — | — | — | — |

I

Lots témoins :
% de germination

| Témoin 1 | Témoin 2 | Témoin 3 | Témoin 4 | Témoin 5 | Témoin 6 | Témoin 7 | Témoin 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.3 | 6.2 | 6.2 | 9.5 | 12.5 | 10 | — | *18.7* |
| 59.3 | 50.0 | 93.7 | 96.8 | 96.8 | 16.6 | 67.7 | 100 |
| 93.7 | 90.0 | 100 | 100 | 100 | 96.6 | 100 | — |
| 100 | 100 | — | — | — | 100 | — | — |
| 21.8 | 18.7 | 22.6 | *38.7* | 25.8 | 25 | 12.6 | 15.6 |
| 90.6 | 100 | 96.7 | 100 | 100 | 93.7 | 100 | 93.7 |
| 100 | — | 100 | — | — | 100 | — | 100 |
| 45 | 35 | *65* | 25 | 30 | 25 | — | — |
| 100 | 100 | 100 | 100 | 95 | 100 | — | — |
| — | — | — | — | 100 | — | — | — |
| 57.3 | 53.6 | 18.3 | 18.1 | 33 | 41.0 | 5.3 | 18.5 |
| 92.7 | 93.6 | 75.5 | 68.6 | 55.1 | 85.2 | 17.0 | 85.5 |
| 97.9 | 98.9 | 94.9 | 94.9 | 90.8 | 97.9 | 87.2 | 98.9 |
| 100 | 98.9 | 98.9 | 98.9 | 97.9 | 98.9 | 87.2 | 98.9 |
| — | 98.9 | 98.9 | 100 | 98.9 | 98.9 | 97.8 | 98.9 |
| — | 98.9 | 98.9 | — | 100 | 98.9 | 100 | 98.9 |
| — | 98.9 | 98.9 | — | — | 98.9 | — | 100 |
| — | 98.9 | 98.9 | — | — | 100 | — | — |
| — | 100 | 100 | — | — | — | — | — |
| 4.4 | 1.04 | 0 | 6.0 | 2.1 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| 45.0 | 50 | 12.3 | 11.1 | 16.0 | 16.5 | 35.1 | 19.5 |
| *89.0* | 55.2 | 50.5 | 16.1 | 30.5 | 43.3 | 61.7 | 71.1 |
| *97.8* | 59.3 | 70.1 | 44.4 | 38.9 | 70.1 | 88.3 | 91.7 |
| 97.8 | 60.4 | 78.3 | 92.9 | 61.0 | 82.4 | 93.6 | 97.9 |
| 98.9 | 85.4 | 96.9 | 98.9 | 95.7 | 94.5 | 99.1 | 100 |
| 100 | 93.7 | 98.9 | 98.9 | 98.9 | 97.9 | 100 | — |
| — | 95.8 | 100 | 100 | 100 | 98.9 | — | — |
| — | 100 | — | — | — | 100 | — | — |
| 7.3 | 34.7 | 8.3 | 10.5 | *60.8* | 45.9 | 29.9 | 14.4 |
| 79.1 | 85.7 | 57.3 | 78.9 | 91.7 | 89.8 | 85.5 | 93.8 |
| 92.7 | 93.8 | 65.6 | 90.5 | 96.9 | 93.9 | 95.8 | 96.9 |
| 97.9 | 94.8 | 95.7 | 96.8 | 100 | 97.9 | 98.9 | 100 |
| 98.9 | 96.9 | 98.8 | 98.8 | — | 100 | 98.9 | — |
| 100 | 100 | 100 | 97.9 | — | — | 98.9 | — |
| — | — | — | 100 | — | — | 100 | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — |

**TABLEAU II**

| Expériences | Température | Plantes | Nombre de graines | Mesures | Heures des mesures | Lots irradiés : % de germination | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1/12 H | 1/4 H | 1/2 H | 1 H | 3 H | 5 H | 10 H | 20 H |
| 7 | 25° | Navets | 1600 | 1 | 24 | 80 | 76.7 | 3.0 | 57 | 51 | 23 | 40.7 | |
| | | | | 2 | 48 | *97.1* | 94.9 | 57.5 | 86 | 93 | 27 | 75.5 | 84. |
| | | | | 3 | 72 | 99.0 | 98.9 | 96.9 | 91 | 96 | 28 | 95.3 | 97. |
| | | | | 4 | 96 | 100 | 98.9 | 100 | 99 | 100 | 44 | 100 | 99. |
| | | | | 5 | 120 | — | 100 | — | 100 | — | 89 | — | 10 |
| | | | | 6 | 144 | — | — | — | — | — | 98 | — | — |
| | | | | 7 | 168 | — | — | — | — | — | 99 | — | — |
| | | | | 8 | 216 | — | — | — | — | — | 100 | — | — |
| | | | | 9 | 288 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 8 | 26° | Navets | 1600 | 1 | 24 | 76 | 74 | 72.4 | 82.8 | 81.5 | 13.2 | 59.8 | 68 |
| | | | | 2 | 54 | 97 | 99 | 98.9 | 100 | 99 | 96.9 | 97 | 99 |
| | | | | 3 | 76 | 100 | 100 | 98.9 | — | 100 | 100 | 97 | 10 |
| | | | | 4 | 104 | — | — | 100 | — | — | — | 99 | — |
| | | | | 5 | 120 | — | — | — | — | — | — | 100 | — |
| | | | | 6 | 144 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9 | 27° | Millets | 1600 | 1 | 24 | 84.1 | *96.9* | 88 | 80 | 90.8 | 91.8 | 72.7 | 89 |
| | | | | 2 | 41 | 97.0 | 100 | 98 | 97 | 95.9 | 96.9 | 98.9 | 99 |
| | | | | 3 | 64 | 100 | — | 100 | 99 | 100 | 100 | 100 | 10 |
| | | | | 4 | 85 | — | — | — | 100 | — | — | — | — |
| 10 | 28° | Millets | 1600 | 1 | 24 | 84.8 | 76.9 | 56.7 | 73.4 | 82.3 | *90* | 65.9 | 67 |
| | | | | 2 | 48 | 100 | 96.7 | 100 | 97.8 | 100 | 98.9 | 100 | 10 |
| | | | | 3 | 72 | — | 97.8 | — | 97.8 | — | 98.9 | — | — |
| | | | | 4 | 106 | — | 98.9 | — | 100 | — | 98.9 | — | — |
| | | | | 5 | 121 | — | 100 | — | 100 | — | 100 | — | — |
| 11 | 25° | Haricots soissons | 320 | 1 | 33 | 60 | 75 | 63.1 | 41.1 | 36.8 | 50 | 36.3 | 50 |
| | | | | 2 | 51 | 100 | 95 | 94.7 | 83.5 | 94.7 | 100 | 100 | 10 |
| | | | | 3 | 60 | — | 100 | 94.7 | 100 | 100 | — | — | — |
| | | | | 4 | 94 | — | — | 100 | — | — | — | — | — |
| 12 | 25° | Haricots soissons | 320 | 1 | 24 | 66.6 | 68.7 | 78.9 | 76.4 | 40 | 77.7 | 50 | 57.1 |
| | | | | 2 | 47 | 100 | 100 | 94.7 | 100 | 73.3 | 88.8 | 94.4 | 10 |
| | | | | 3 | 64 | — | — | 100 | — | 100 | 100 | 100 | — |
| 13 | 27° | Lentilles | 960 | 1 | 25 | *89* | 75.4 | 67.2 | 70.1 | 81.6 | 54.3 | 82.7 | 77.7 |
| | | | | 2 | 40 | 100 | 100 | 98.2 | 89.4 | 100 | 91.2 | 100 | 100 |
| | | | | 3 | 65 | — | — | 100 | 92.9 | — | 98.2 | — | — |
| | | | | 4 | 89 | — | — | — | 100 | — | 100 | — | — |
| | | | | 5 | 116 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 14 | 27° | Lentilles | 960 | 1 | 26 | 13.5 | 5.1 | 14.5 | 33.3 | 20 | 42.5 | 8.4 | 23.3 |
| | | | | 2 | 52 | 100 | 67.8 | 98.3 | 93.3 | 100 | 100 | 91.3 | 98.3 |
| | | | | 3 | 68 | — | 100 | 100 | 100 | — | — | 98.2 | 98.3 |
| | | | | 4 | 93 | — | — | — | — | — | — | 100 | 100 |

**(Suite)**

Lots témoins :
% de germination

| Témoin 1 | Témoin 2 | Témoin 3 | Témoin 4 | Témoin 5 | Témoin 6 | Témoin 7 | Témoin 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 73.7 | 39.4 | *83.6* | 4.0 | 1.0 | 4.0 | 37.5 | 3.0 |
| 95.9 | 93.9 | 95.9 | 11.1 | 42.5 | 46.4 | 48.8 | 87 |
| 98.9 | 94.9 | *100* | 13.1 | 71.2 | 70.7 | 89.4 | 94 |
| 98.9 | 96.9 | — | 44.4 | 96.0 | 90.9 | 97.1 | 99 |
| 98.9 | 98.9 | — | 95.9 | 97.0 | 94.9 | 98.0 | 100 |
| 98.9 | 98.9 | — | 96.9 | 98.0 | 95.9 | 98.0 | — |
| 98.9 | 98.9 | — | 96.9 | 98.0 | 96.9 | 99.0 | — |
| 98.9 | 100 | — | 98.9 | 99.0 | 98.9 | 100 | — |
| 100 | — | — | 100 | 100 | 100 | — | — |
| 66 | 79.6 | *86.7* | 15 | 6 | 2 | *86* | 62.6 |
| 100 | 96.1 | 100 | 98 | 94 | 95 | 100 | 100 |
| — | 99 | — | 99 | 100 | 99 | — | — |
| — | 99 | — | 99 | — | 100 | — | — |
| — | 100 | — | 99 | — | — | — | — |
| — | — | — | 100 | — | — | — | — |
| 90.1 | 92 | 85.5 | 80.8 | 88.8 | 93.1 | 72.4 | 88.1 |
| 95.0 | 99 | 97.1 | 93.9 | 96.9 | 98 | 98.9 | 98 |
| 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| — | — | — | — | — | — | — | — |
| 85.8 | 80 | 59.3 | 75 | 82.9 | *89.2* | 58.5 | 79.5 |
| 98.9 | 100 | 96.5 | 100 | 96.8 | 100 | 97.8 | 98.9 |
| 98.9 | — | 97.6 | — | 96.8 | — | 100 | 98.9 |
| 98.9 | — | 97.6 | — | 97.7 | — | — | 98.9 |
| 100 | — | 100 | — | 100 | — | — | 100 |
| 47.3 | 60 | 65 | 55 | 61.1 | 50 | *78.5* | 27.2 |
| 100 | 85 | 95 | 90 | 83.8 | 93.7 | 92.8 | 100 |
| — | 95 | 100 | 90 | 100 | 93.7 | 100 | — |
| — | 100 | — | 100 | — | 100 | — | — |
| *80* | 61.5 | *81.8* | 70.6 | *90.9* | 77.7 | *86.6* | 70 |
| 100 | 92.3 | 100 | 100 | 90.9 | 100 | 100 | 100 |
| — | 100 | — | — | 100 | — | — | — |
| 69.5 | 71.9 | 53.5 | 56.9 | 49.1 | 37.5 | 84.3 | 86.2 |
| 86.9 | 94.7 | 98.2 | 94.8 | 98.3 | 71.4 | 98.4 | 98.2 |
| 100 | 98.2 | 100 | 96.5 | 100 | 87.5 | 100 | 100 |
| — | 100 | — | 100 | — | 94.6 | — | — |
| — | — | — | — | — | 100 | — | — |
| 21.0 | 10.1 | 3.3 | 38.9 | *48.8* | 40.6 | 8.4 | 32.7 |
| 96.5 | 91.5 | 95 | 96.6 | 100 | 100 | 94.9 | 93.1 |
| 100 | 100 | 100 | 98.3 | — | — | 100 | 100 |
| — | — | — | 100 | — | — | — | — |

jour, trois témoins lui étant supérieurs. De plus, le lot irradié 5 H qui, dans l'expérience précédente, n'avait pas montré une germination précoce se trouve ici plus en avance que les lots témoins.

Dans une troisième expérience (expérience 6), recommencée dans les mêmes conditions, les lots 1 H ou 5 H ou 1/12 de H ne sont plus les premiers, l'avance étant tenue par les témoins avec une moyenne de 60,8 pour le témoin 4, les lots irradiés 1/12 H et 3 H qui sont cette fois les plus forts n'ayant respectivement que 36 et 35 % de graines germées.

En résumé, ces trois expériences, faites dans les mêmes conditions, ne donnent pas de résultats constants. Chez aucun lot irradié, on ne peut déceler, d'une façon régulière, une apparition du germe plus hâtive que chez les témoins. Ces résultats s'expliquent facilement par ce fait que la germination du cresson alénois s'effectue d'une manière peu homogène ; les variations considérables, auxquelles elle est sujette peuvent laisser croire à une action favorable des rayons si l'on ne prend pas soin de constituer de nombreux lots témoins et de recommencer les expériences dans les mêmes conditions.

3° Les divers essais que j'ai effectués sur le navet, le millet, le haricot soisson, la lentille, relatés dans le Tableau II, montrent que les rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å. ne hâtent pas l'apparition du germe chez ces plantes.

Quelque nets qu'aient été les résultats que je viens de rapporter, j'ai cependant encore expérimenté l'action des rayons sur la germination en me plaçant dans d'autres conditions. Tout d'abord, j'ai recherché si en diminuant la vitesse de la germination, on ne verrait pas les graines irradiées germer plus tôt que les témoins, l'effet accélérateur des rayons X, s'il existait, ayant ainsi plus de temps pour se manifester.

Deux expériences faites sur des flageolets ont donné les résultats suivants.

**Expérience 15.** — Expérience faite sur 240 flageolets verts. Température 12°, 14°.

1° 1re mesure faite 72 heures après la mise en germination :

Irradiés : 1/12, 1/2, 1, 5, 10, 20 H : 22, 5, 37, 33, 27,7, 0 % de graines germées. Témoins : 11,1, 11,1, 35, 10, 31,5, 37 % de graines germées.

2° 2e mesure faite 97 heures après la mise en germination :

Irradiés : 77, 74, 100, 88, 100, 89,4 % de graines germées. Témoins : 88,8, 77,7, 80, 80, 52,6, 90,5 % de graines germées.

3° 3e mesure faite 124 heures après la mise en germination :
Irradiés : 95, 100, 100, 100, 100, 89,4 % de graines germées.
Témoins : 100, 100, 100, 100, 100, 100 % de graines germées.

4° A la dernière mesure, témoins et irradiés sont germés.

**Expérience 16.** — Expérience faite sur 400 flageolets verts. Température 11°.

1° 1re mesure faite 72 heures après la mise en germination :
Irradiés : 1/12, 1/4, 1/2, 1, 3, 5, 10, 20 H : 13,3, 6,6, 6,6, 16,6, 6,6, 3,7, 0,0 % de graines germées. Témoins : 31, 0, 80,3, 10, 10, 16,6, 16,6, 6,6 % de graines germées.

2° 2e mesure faite 96 heures après la mise en germination :
Irradiés : 26,6, 56,6, 33,3, 46,6, 23,3, 29,6, 26,6, 41,3 % de graines germées. Témoins : 75,8, 23,3, 24,4, 30, 26,6, 53,3, 43,3, 30 % de graines germées.

3° 3e mesure faite 120 heures après la mise en germination :
Irradiés : 76,6, 80, 63,3, 90, 60, 59,2, 63,3, 65,5 % de graines germées. Témoins : 93,1, 73,3, 86,2, 53,3, 60, 80, 83,3, 53,3 % de graines germées.

4° 4e mesure faite 144 heures après la mise en germination :
Irradiés : 93,3, 96,6, 86,6, 100, 70, 85,1, 96,6, 93,1 % de graines germées.

5° 5e mesure faite 168 heures après la mise en germination :
Irradiés : 100, 100, 96,6, 93,3, 100, 100, 100, 100 % de graines germées. Témoins : 100, 100, 93,3, 100, 100, 100, 100, 83,3 % de graines germées.

6° A la sixième mesure, 192 heures après la mise en germination, tous les irradiés et témoins étaient germés.

Une autre expérience a ensuite été faite, non plus avec des graines irradiées sèches, mais avec des graines irradiées après 17 heures de gonflement dans du coton humide :

**Expérience 17.** — Elle a été effectuée sur 280 flageolets verts.

1° 1re mesure faite 23 heures après l'irradiation :
Irradiés : 1/12, 1/4, 1/2, 1, 5, 10, 20 H : 53,3, 50, 60, 64,2, 65, 50, 70,5 % de graines germées. Témoins : 78,9, 92,8, 66,6, 58,8, 56,2, 58,8, 76,4 % de graines germées.

2° 2e mesure faite 48 heures après l'irradiation :
Irradiés et témoins sont tous germés.

*

Une dernière expérience a été réalisée sur des lentilles irradiées sèches avec des doses de rayons X plus fortes que celles employées dans toutes les expériences précédentes :

**Expérience 18.** — Elle a été faite sur 350 lentilles. Température 16-18°.

1° 1re mesure faite 25 heures après la mise en germination :

Irradiés : 20, 40, 70, 100, 150 H : 68, 56, 37,5, 60, 55 % de graines germées. Témoins : 56, 65 % de graines germées.

2° 2e mesure faite 48 heures après la mise en germination :

Irradiés : 98, 98, 99,9, 96, 99,9 % de graines germées. Témoins : 100, 100 % de graines germées.

Ces dernières expériences ont donné des résultats tout à fait comparables aux premiers essais relatés dans le Tableau II. Les rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å., appliqués sur des graines sèches ou gonflées, à des doses variant de 1/12 H à 150 H, n'ont pas la propriété de hâter l'apparition du germe quelles que soient les conditions de température, dans lesquelles on place les graines.

### 3. — Discussion.

Les résultats que j'apporte sont en contradiction avec ceux que les auteurs ont obtenus avant moi et en accord avec ceux de C z e p a et d'I v e n. La différence de ces conclusions m'apparaît aisée à expliquer. Elle tient aux grandes variations individuelles qui se manifestent dans la germination des lots mis en expérience, fait que met bien en évidence la comparaison des divers lots témoins entre eux. On voit, en effet, lorsqu'on constitue de nombreux lots témoins que la quantité de graines germées est souvent très différente dans chacun de ces lots. Certaines plantes présentent plus particulièrement des variations considérables. Ainsi pour le cresson alénois (expérience 6) où les lots renferment 100 graines, l'un d'eux montre 24 heures après la mise en germination 7 % de graines germées, alors qu'un autre en possède déjà 60 %. Pour le navet (expérience 7), à côté de lots ne renfermant que 1, 3, 4 % de graines germées, on en remarque d'autres qui en contiennent 73 et 83 %. On conçoit qu'expérimentant sur de tels objets avec un seul lot témoin, des auteurs aient pu obtenir un ou plusieurs lots irradiés plus avancés dans leur germination que le lot témoin.

Pour des plantes à germination plus homogène : haricots, lentilles, les variations sont parfois assez sensibles, et ici encore la présence de nombreux lots témoins s'impose.

En outre, en ce qui concerne le nombre d'objets mis en expérience, il est à noter que certains auteurs ont expérimenté sur très peu de graines, ce qui constitue une condition d'expérience favorable à la manifestation des variations individuelles.

On peut également faire remarquer aux partisans de l'excitation qu'ils n'ont pas reproduit leurs expériences un grand nombre de fois dans les mêmes conditions.

**Conclusion.** — Des doses de 1/12 à 150 H de rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å. appliquées sur des graines sèches ou gonflées de haricots, lentilles, navets, cressons, millets, n'accélèrent pas la vitesse d'apparition du germe.

## II. — ACTION DE FAIBLES DOSES DE RAYONS X SUR LA VITESSE DE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES.

### 1. — Historique.

Après Maldiney et Thouvenin (140), qui reconnaissent aux rayons X une action favorisant la germination, de nombreux auteurs ont recherché quelle était l'action de faibles doses de rayons X sur la croissance des plantes.

Evler, en 1906 (62), vit que des germes irradiés de fèves, radis, cresson, courge, cornichon, se développaient plus vite, donnaient des plantes plus robustes et fleurissaient plus tôt que les graines témoins de ces mêmes plantes.

Guilleminot, 1907 (71), a expérimenté sur 720 graines de giroflée de Mahon qu'il divisa en 36 lots, 16 étant irradiés avec des doses de rayons X allant de 10 jusqu'à 20.000 M (soit 1/12 à 160 H) et 16 autres avec les mêmes doses de radium ; quatre lots servaient de témoins. Les plantes étaient cultivées en terre. Guilleminot conclut de ses expériences que « l'action accélérante, si elle existe, « paraît se produire aux environs de 250 à 500 M radium et de 5.000 « à 7.500 M rayons X (soit pour les rayons X de 40 à 60 H). Mais « quoique le pourcentage des graines levées ait été un peu plus fort « pour ces séries à la fin d'août, quoique l'aspect général des cultures « montre un peu plus de développement, quoiqu'enfin elles aient « été seules jusqu'à présent à donner des fleurs alors que les témoins « sont seulement en boutons, les différences sont trop peu sensibles « pour permettre d'affirmer à coup sûr l'accélération ».

Iven (96) rapporte que Catteney, en 1909, a observé une accélération de l'accroissement sur l'iris, le narcisse et le glaïeul avec une dose de rayons déterminée.

Schmidt (196), en 1910, expérimenta sur des graines de pois gonflés pendant 6 heures, qu'il irradia avec des doses de 1/20 à 1 ED (ED = dose érythème = 5 H). Les cultures étaient faites en terre, et il n'y avait qu'un seul lot témoin ; le nombre de graines n'est pas indiqué. L'auteur trouve que les plantes irradiées avec 1/10, 1/4, 1/12 ED montrent une croissance excessive ; les gousses et les feuilles sont à peu près deux fois plus grandes que celles des témoins. L'excitation cependant n'est apparue qu'après un certain temps de latence ; au début de l'accroissement, les plantes étaient à peu près de même taille.

Cette même année, Albers-Schönberg (1) irradia de la terre de jardin et y planta des graines de pois, fèves, cresson. Ces plantes se développèrent plus rapidement et fleurirent plus tôt que des témoins plantés dans la terre non irradiée. Cette expérience ne put être reproduite dans la suite par l'auteur lui-même.

Promsy et Drevon, en 1912 (171), expérimentant sur des lentilles, du blé, des graines de lupin, considèrent « qu'à température « ordinaire les rayons X exercent une action extrêmement variable « sur la vitesse de la germination des graines ». Ils n'observèrent rien de général au point de vue de l'accroissement en poids sec et de la teneur en eau. Dans certaines expériences, ils ont cru remarquer une excitation du développement ; dans d'autres, ils n'ont rien constaté. Chaque essai comprenait trois lots, un lot irradié et deux lots témoins ; les plantes étaient cultivées sur coton de verre dans des boîtes de Pétri ; la durée de la culture ne dépassait pas huit jours. Par contre, ces auteurs ont ensuite expérimenté sur des graines chauffées entre 35° et 40° au moment de l'irradiation. Ils ont fait six expériences dans des conditions différentes d'irradiation sur des graines de lupin, et un essai sur des haricots ; ils ont toujours obtenu une activation de la croissance des plantes. Chaque expérience comprenait vingt graines, dix étaient irradiées, les dix autres servaient de témoins.

En 1913, E. Schwarz (202) trouve que les rayons X appliqués sur des graines sèches de *Vicia faba* à la dose de 1/24 de H favorisent particulièrement la croissance de cette plante. Les expériences réalisées par cet auteur comprenaient six lots, cinq étaient irradiés, l'autre était un témoin ; chaque lot renfermait seulement trois graines qui étaient cultivées en pot.

De plus, Schwarz, pour éliminer la possibilité d'avoir toujours irradié par hasard des graines de grande vitalité, plaça un certain nombre de fèves en germination dans une étuve. Des plantules qui

en sortirent, il fit des plus grandes le lot témoin, tandis que les plus faibles étaient soumises aux rayons à des doses variant comme dans les expériences précédentes de 1/60 à 1/6 de x. Le nombre des graines utilisées était également de trois par lots. Les plantes irradiées, après trois semaines de culture, se montrèrent plus développées que les témoins. Pour cet auteur, la quantité de rayons favorisant la croissance des plantes est donc très petite ; elle oscille autour de 1/12 x ; de plus, il ne serait possible d'amener une accélération de l'accroissement qu'en irradiant des graines avant la germination ou des germes très jeunes ; les plantes plus âgées ne seraient pas susceptibles d'être excitées.

Pfeiffer et Simmermacher (voir 206) ont repris les expériences de Schwarz. Les différences individuelles observées sur les quelques plantes qu'ils avaient mises en expérience les font douter de l'action excitatrice des rayons X.

Miège et Coupé, en 1914 (147), ont soumis des graines de Lepidium sativum et de Raphanus sativus à des irradiations de rayons X faibles et fréquentes, quotidiennes ou hebdomadaires, atteignant au total 75 H par mois. La culture se faisait dans du terreau. Pour chaque espèce de graine, l'expérience comprenait un lot témoin et trois lots irradiés différemment. Les auteurs concluent que les rayons X possèdent sur la végétation de Lepidium sativum et de Raphanus sativus une action nettement favorisante, qui se traduit par une augmentation de poids atteignant 45 % pour les feuilles, 59 % pour le total et 193 % pour les tubercules.

Körnicke, 1915 (111), frappé par les résultats si curieux d'E. Schwarz entreprit, à son tour, de soumettre des graines de diverses espèces à l'action de faibles doses de rayons. Les graines, au nombre de 200 à 3000 pour chaque expérience, étaient plantées en pot immédiatement après l'irradiation dans de la sciure de peuplier humide, puis transplantées plus tard dans la terre. Seule Vicia faba montra une réaction à l'irradiation nettement appréciable. Les graines irradiées sèches germèrent plus tôt que les témoins, et les plantes, qui en résultèrent, présentèrent, tout d'abord, une avance de développement qui disparut peu à peu, pour n'être plus reconnaissable au moment de la floraison. L'auteur observa des faits identiques sur des graines de Vicia faba irradiées à l'état gonflé ou germé. Körnicke reconnaît donc aux rayons X le pouvoir d'accélérer la croissance ; toutefois, l'excitation n'apparaît, suivant l'état des graines, que pour des doses de 1 à 5 x ou de 1/30 à 1/10 de x, alors que les plantes de Schwarz manifestent déjà une notable exa-

gération de la croissance après une irradiation de 1/30 à 1/12 de x ou 1/60 à 1/15 de x. De plus, cette action excitante dure peu, d'où il est impossible d'en tirer une application pratique en agriculture.

En 1915 également, Rost et Kruger (186) soumirent à l'action des rayons X des graines de pois, préalablement gonflées deux jours dans l'eau. Les auteurs firent quatre expériences, chacune d'elles ne renfermant qu'un lot témoin. Ils constatèrent que l'accroissement plus rapide des plantes irradiées se traduisait par une différence de longueur de 14 %.

Dans la suite, Jungling (99) crut, tout d'abord, remarquer que de petites quantités de rayons excitent le développement des fèves, mais, en 1921 (100), il signale, qu'après avoir effectué de nombreux essais, il n'a pas trouvé de réelle accélération, les plantes étant cultivées pendant quinze jours et les doses de rayons utilisées étant très petites. Cependant, il note qu'après avoir irradié des haricots germés avec une dose de rayons qui était les 10/100 de la dose mortelle de la racine, il obtint une excitation de la croissance de la tige sans que la racine ne manifestât ni retard ni activation d'accroissement.

En 1922, Halberstadter et Simons (78) expérimentent l'action de faibles doses de rayons sur la croissance du blé et des haricots. Les auteurs donnent des courbes montrant l'intensité de rayons X la plus apte à accélérer le développement de graines sèches et germées. Ils admettent que l'optimum d'excitation se trouve dans les doses moyennes, doses pour lesquelles l'excitation se maintient durable. Pour des doses plus faibles, la manifestation de l'excitation est passagère. Pour des doses plus fortes, susceptibles même d'amener la mort, les auteurs croient à une excitation préalable.

En 1922 également, Sierps et Robbers (209) soumettent à l'action des rayons X des coléoptiles d'avoine et mesurent au microscope leur allongement. Ils constatent qu'après irradiation, comme après exposition à la lumière, l'accroissement peut être représenté par une sinusoïde. Toutefois, la courbe est ascendante au début, immédiatement après l'action des rayons X, alors qu'elle est descendante après celle de la lumière. Il y a, sous l'influence des rayons X, excitation première. Les auteurs concluent cependant que ce fait ne permet pas d'admettre une action favorable des rayons sur l'accroissement des plantes. Ils disent, au contraire, qu'après une excitation courte (immédiatement après l'irradiation), il se produit un retard, qui est d'autant plus grand que l'action des rayons a été plus prolongée.

L'année suivante, Altmann, Rochlin et Gleichgewicht (5) ont irradié des haricots secs, gonflés et germés avec des doses de 1 à 20 H. Ils firent trois expériences, comprenant chacune cinq lots d'irradiés et un seul lot témoin ; chaque lot renfermait huit graines. Les auteurs ont constaté l'existence d'une excitation passagère, suivie parfois par un retard, retard qui était d'autant plus grand que l'excitation avait été plus petite et de plus courte durée.

En 1925, dans une réponse à Czepa, qui avait contesté la valeur de leurs expériences, effectuées sur peu de graines et de plantes témoins, Rochlin et Gleichgewicht (185) signalent qu'ils ont refait dix fois leurs essais et ont obtenu les mêmes résultats. Ils ajoutent « la coïncidence des résultats de nos expériences « exclut le hasard et nous permet de considérer ces faits comme « un phénomène se produisant avec régularité ». Ces auteurs ont recherché, en outre, sur des haricots germés quel était le nombre des cellules en mitoses chez les plantes irradiées et témoins. Ils ont trouvé que, pour une irradiation de 1/3 HED (HED = 5 H), le nombre des mitoses était beaucoup plus grand chez les irradiés que chez les témoins ; six heures après l'irradiation, l'énergie de division serait de 100 % plus grande, chez les irradiés, de 50 % après 24 heures, de 30 % après 48 heures; 96 heures plus tard, elle serait identique chez les irradiés et les témoins.

Les expériences de Picado et Vicente (166) datent également de 1923 ; elles ont été réalisées sur des graines de haricots, blés, maïs et sur des tubercules de pomme de terre. Les auteurs ont trouvé que l'irradiation active la germination du haricot, mais qu'elle est sans effet sur le blé. Ils ont remarqué, d'autre part, que certains plants de pomme de terre irradiés étaient plus vigoureux que les plants témoins. Les auteurs expliquent ces différences par une variation de sensibilité aux rayons ; l'activation ne pourrait se produire que chez des plantes sensibles. Ils écrivent en effet : « Des graines « de maïs sèches, dont la germination a été préalablement amorcée « par imbibition d'eau, deviennent sensibles et fournissent des cul- « tures plus abondantes ». C'est ainsi que 126 graines de maïs irradiées gonflées et plantées en terre germèrent plus rapidement que les graines témoins. A la fin de la récolte, les auteurs obtinrent, pour les irradiés, 108 plantes avec 111 épis pesant 26.900 grammes et, pour les témoins, 108 plantes avec 105 épis pesant 26.000 grammes. Ils en concluent à une action favorisante des rayons X.

En 1924, parut l'important travail de Schwarz, Czepa et Schindler (206). Ces auteurs ont irradié, avec des doses variées,

quelques milliers de graines (blé, fève, lentille, moutarde, salade, avoine, etc.) ; ils ont effectué de nombreuses mesures et n'ont jamais trouvé une accélération de la croissance des plantes soumises aux rayons. Dans leur travail, ils exposent, en particulier, avec détail les résultats d'une expérience faite sur du blé qu'ils cultivèrent sur papier filtre humide ; cet essai comprenait 12 lots de graines irradiées et 9 lots témoins, chacun d'eux renfermant 20 graines. Les variations que l'on observe chez les lots irradiés se retrouvent chez les témoins. Pour ces auteurs, la soi-disant action favorisante des rayons X sur l'accroissement des plantes est une erreur due à ce qu'on a négligé de tenir suffisamment compte des variations individuelles.

Cette même année, Komuro (118) publie qu'il a obtenu une accélération de la croissance de graines d'*Oryza sativa* irradiées sèches ; il propose d'en tirer une utilisation pratique pour la culture du riz. Les expériences de l'auteur ne comportaient qu'un seul lot témoin ; la culture avait lieu sur papier mouillé dans une boîte de Pétri et ultérieurement dans du sable. La croissance des plantes irradiées sèches était meilleure que celle des graines irradiées après douze heures de séjour dans l'eau.

Gambarow (68), par contre, n'obtint en 1925 aucun effet excitant sur des graines de Vicia faba.

Iven (96) réalisa, cette même année, un important travail sur ce sujet. Cet auteur expérimenta sur de nombreuses graines de *Vicia faba equina, Soja hispida, Acacia decipiens, Papaver somniferum, Asperula arvensis, Gallium aparine, Sinapis alba, Bryophyllum crenatum et Hordeum sativum.* Chaque lot de graines mis en expérience renfermait 25 à 50 objets. Les irradiations ont été faites sur des graines sèches ou gonflées avec des rayons de duretés différentes : les doses variant pour chaque dureté de 1/250 à 22 HED (1 HED = 435 R.). Elles étaient, en effet, de 1/250, 1/100, 1/20, 1/10, 1/2, 1, 5, 10, 18, 22 HED. La culture a eu lieu dans les champs ou dans les serres. Iven décrit huit expériences où il a toujours trouvé, pour Vicia faba, une accélération de l'accroissement qui disparaissait progressivement après 10 à 12 jours de culture. Les doses excitantes variaient suivant les duretés de rayons X et l'état d'hydratation des graines, de 1/100 à 1/2 HED. Pour toutes les autres plantes qu'il a étudiées, Iven n'a remarqué aucune accélération de leur vitesse d'accroissement.

Arntzen et Krebs (29) ont trouvé, en 1925, un effet stimulant sur Pisum sativum pour 1/42 S. N. se manifestant dans les pre-

mières 24 heures après l'irradiation ; après 48 heures, ils n'ont plus noté d'excitation.

En 1926, j'ai publié (20) des expériences faites sur de nombreuses plantes de haricots, lentilles, blé et que je décris plus loin, où je n'ai pu mettre en évidence aucune action accélératrice des rayons X.

* * *

On voit donc que l'étude de l'action favorisante des rayons X sur la croissance des plantes a séduit un grand nombre d'auteurs. En résumé, on peut dire que de toutes les expériences, entreprises à ce sujet, trois conclusions différentes ont été tirées :

1° De faibles doses de rayons X déterminent une excitation durable de l'accroissement de la plante irradiée (Evler, E. Schwarz, Schmidt, Miège et Coupé, Picado et Vicente, Komuro, Halberstadter et Simons).

2° L'excitation créée par l'action de faibles doses de rayons X est passagère, car elle est bientôt suivie d'un effet frénateur (Körnicke, Altmann, Rochlin et Gleichgewicht, Iven).

3° Les rayons X n'ont point d'effet excitant sur la croissance des plantes (Schwarz, Czepa et Schindler, Gambarow, S. Ancel).

### 2. — Recherches personnelles.

Les recherches que j'ai entreprises ont été conduites avec le désir d'éviter le plus possible la cause d'erreur des variations individuelles. Dans ce but, je me suis efforcée de respecter les quatre conditions suivantes :

1° J'ai, tout d'abord, choisi comme objets d'études des plantes à germination et à croissance aussi homogènes que possible.

2° Dans chaque expérience, j'ai constitué un grand nombre de lots 12, 14 ou 16, la moitié de ces lots étant des lots témoins.

3° Chaque lot renfermait un grand nombre de graines, variant avec la taille des semences.

4° Les conditions de culture ont été aussi homogènes que possible, toutes les plantes étant cultivées ensembles sur l'eau, aux dépens de leurs réserves et au moyen du dispositif décrit dans le chapitre des techniques.

Les expériences ont été faites sur des graines germées de lentilles et de blé et des semences sèches de haricots flageolets verts. Les mesures au nombre de deux, trois ou quatre ont porté sur les racines, tiges, radicelles ou feuilles, suivant les essais.

**Expérience 19.** — Elle a été faite sur 600 lentilles germées de 6 mm. de longueur de racine ; elles ont été divisées en 12 lots, renfermant 50 graines chacun. Six lots servaient de témoins, les six autres reçurent des doses variées de 1/60, 1/12, 1/3, 1, 5, 20 H. Les mesures ont été faites trois fois : le deuxième, cinquième et neuvième jour après l'irradiation ; elles portèrent sur la longueur des racines, des tiges et des radicelles. J'ai pour cette expérience détaillé les résultats dans les Tableaux III, IV et V ci-dessous.

Le Tableau III indique la longueur des racines de toutes les plantes mises en expérience, après deux jours de croissance. Le Tableau IV donne la taille des racines et des tiges, cinq jours après l'irradiation. Le Tableau V fournit les résultats de la mesure faite neuf jours après l'irradiation ; il indique les longueurs des racines, tiges et radicelles de toutes les plantes mises en expérience.

Pour permettre des comparaisons plus aisées, j'ai, dans le Tableau VI, relevé les longueurs moyennes des racines, tiges et radicelles, des lots témoins et irradiés pour les trois mesures réalisées.

L'examen de ces résultats met, tout d'abord, en évidence la croissance très homogène des lots de lentilles ainsi constitués ; les variations existant entre les lots témoins sont, en effet, peu élevées. Ce fait s'observe plus particulièrement sur les racines et les tiges.

L'examen du Tableau VI, qui résume l'expérience, montre qu'il est impossible de voir dans ces résultats l'indice d'une action accélératrice des rayons X. Ce qu'on y remarque immédiatement, c'est plutôt l'influence néfaste de ces rayons sur les graines irradiées avec 5 et 20 H.

Toutefois, si l'on compare la croissance des racines du lot irradié 1/60 de H à celle du témoin 1, on constate qu'il possède sur celui-ci lors de la deuxième mesure, une légère avance, qui n'apparaît plus nettement dans la troisième mesure. Doit-on conclure à une excitation passagère? Si on le compare au lot témoin 3, on voit que l'avance est, au contraire, conservée et même augmentée. Doit-on également en conclure à une excitation? La présence des six lots témoins permet de rejeter ces conclusions et de dire, au contraire, qu'il n'y a aucune excitation puisque certains lots témoins (le témoin 6 en particulier) montrent une croissance supérieure à celle des irradiés, et ceci aussi bien pour les racines que pour les tiges et les radicelles. Le lot irradié 1/60 H trouve sa place dans l'échelle des variations de croissance des lots témoins.

En ce qui concerne les mesures faites sur les radicelles, une remarque m'apparaît intéressante. Les lots irradiés 5 et 20 H se montrent

# TABLEAU III

| Expérience 19 | Lots irradiés : longueur des racines (en mm.) | | | | | | Lots témoins : longueur des racines (en mm.) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/60 H | 1/12 H | 1/3 H | 1 H | 5 H | 20 H | T 1 | T 2 | T 3 | T 4 | T 5 | T 6 |
| 1 | 18 | 12 | 14 | 20 | 9 | 14 | 16 | 17 | 14 | 14 | 16 | 13 |
| 2 | 15 | 13 | 16 | 16 | 15 | 13 | 16 | 16 | 12 | 17 | 13 | 14 |
| 3 | 17 | 12 | 19 | 14 | 16 | 13 | 15 | 25 | 15 | 13 | 21 | 22 |
| 4 | 17 | 12 | 23 | 18 | 14 | 11 | 21 | 13 | 13 | 13 | 23 | 17 |
| 5 | 12 | 11 | 23 | 12 | 11 | 14 | 13 | 11 | 15 | 15 | 15 | 17 |
| 6 | 19 | 16 | 15 | 17 | 15 | 12 | 18 | 13 | 11 | 13 | 15 | 17 |
| 7 | 16 | 14 | 15 | 15 | 15 | 13 | 11 | 14 | 17 | 14 | 13 | 17 |
| 8 | 17 | 14 | 18 | 18 | 15 | 15 | 10 | 16 | 13 | 15 | 12 | 15 |
| 9 | 18 | 15 | 13 | 18 | 15 | 12 | 17 | 15 | 13 | 21 | 16 | 15 |
| 10 | 12 | 18 | 19 | 13 | 15 | 13 | 15 | 11 | 13 | 20 | 15 | 18 |
| 11 | 15 | 11 | 10 | 16 | 13 | 10 | 17 | 17 | 13 | 12 | 12 | 11 |
| 12 | 15 | 14 | 10 | 17 | 17 | 12 | 15 | 19 | 16 | 19 | 12 | 17 |
| 13 | 18 | 18 | 19 | 11 | 18 | 14 | 19 | 19 | 14 | 17 | 14 | 15 |
| 14 | 17 | 12 | 15 | 16 | 17 | 14 | 15 | 11 | 17 | 21 | 15 | 13 |
| 15 | 15 | 15 | 17 | 16 | 13 | 13 | 24 | 19 | 18 | 17 | 18 | 18 |
| 16 | 12 | 19 | 15 | 17 | 13 | 15 | 15 | 17 | 15 | 22 | 17 | 15 |
| 17 | 15 | 15 | 12 | 16 | 13 | 14 | 15 | 12 | 9 | 15 | 27 | 17 |
| 18 | 17 | 16 | 13 | 19 | 14 | 12 | 15 | 18 | 11 | 16 | 18 | 16 |
| 19 | 16 | 16 | 20 | 15 | 19 | 12 | 14 | 19 | 16 | 17 | 18 | 16 |
| 20 | 15 | 12 | 11 | 16 | 19 | 11 | 10 | 13 | 14 | 19 | 18 | 20 |
| 21 | 15 | 15 | 12 | 16 | 14 | 11 | 16 | 11 | 15 | 18 | 12 | 21 |
| 22 | 15 | 12 | 12 | 13 | 14 | 12 | 19 | 19 | 22 | 16 | 19 | 24 |
| 23 | 19 | 12 | 13 | 14 | 15 | 14 | 15 | 19 | 15 | 18 | 18 | 11 |
| 24 | 14 | 15 | 11 | 18 | 16 | 10 | 18 | 11 | 14 | 20 | 17 | 15 |
| 25 | 21 | 19 | 16 | 11 | 15 | 14 | 15 | 10 | 14 | 16 | 12 | 24 |
| 26 | 18 | 14 | 18 | 17 | 15 | 10 | 13 | 15 | 16 | 15 | 18 | 19 |
| 27 | 17 | 13 | 10 | 12 | 15 | 11 | 16 | 16 | 17 | 16 | 16 | 15 |
| 28 | 14 | 15 | 10 | 12 | 18 | 12 | 18 | 11 | 15 | 16 | 14 | 16 |
| 29 | 14 | 18 | 18 | 18 | 16 | 13 | 14 | 14 | 22 | 15 | 17 | 13 |
| 30 | 15 | 14 | 12 | 17 | 16 | 10 | 20 | 17 | 14 | 11 | 15 | 23 |
| 31 | 15 | 12 | 15 | 15 | 13 | 11 | 14 | 17 | 15 | 17 | 16 | 17 |
| 32 | 17 | 16 | 19 | 25 | 15 | 12 | 17 | 16 | 16 | 18 | 15 | 12 |
| 33 | 15 | 25 | 15 | 15 | 15 | 11 | 14 | 14 | 16 | 16 | 16 | 21 |
| 34 | 16 | 14 | 17 | 15 | 16 | 12 | 16 | 18 | 16 | 14 | 16 | 23 |
| 35 | 16 | 17 | 20 | 12 | 15 | 10 | 14 | 15 | 13 | 15 | 11 | 19 |
| 36 | 16 | 10 | 15 | 18 | 14 | 13 | 14 | 13 | 15 | 15 | 12 | 16 |
| 37 | 16 | 13 | 11 | 13 | 14 | 12 | 13 | 15 | 15 | 16 | 15 | 16 |
| 38 | 15 | 10 | 14 | 18 | 14 | 15 | 9 | 16 | 16 | 18 | 14 | 18 |
| 39 | 16 | 16 | 17 | 11 | 17 | 11 | 15 | 15 | 16 | 14 | 15 | 12 |
| 40 | 16 | 13 | 16 | 16 | 16 | 13 | 11 | 17 | 19 | 11 | 16 | 22 |
| 41 | 15 | 13 | 17 | 14 | 14 | 12 | 11 | 22 | 18 | 15 | 14 | 16 |
| 42 | 15 | 13 | 13 | 17 | 15 | 12 | 15 | 22 | 15 | 19 | 16 | 19 |
| 43 | 12 | 9 | 13 | 11 | 16 | 12 | 13 | 17 | 14 | 12 | 21 | 12 |
| 44 | 15 | 14 | 15 | 14 | 13 | 15 | 11 | 14 | 18 | 16 | 18 | 13 |
| 45 | 15 | 11 | 13 | 18 | 14 | 10 | 15 | 16 | 16 | 18 | 15 | 14 |
| 46 | 16 | 11 | 18 | 19 | 14 | 14 | 16 | 16 | 13 | 25 | 19 | 17 |
| 47 | 11 | 11 | 16 | 14 | 14 | 11 | 15 | 15 | 13 | 20 | 12 | 18 |
| 48 | — | 13 | 18 | 19 | 14 | 12 | 12 | 14 | 16 | 15 | 15 | — |
| 49 | — | 14 | 19 | — | 16 | 10 | 18 | 13 | 18 | 16 | 20 | — |
| 50 | — | 15 | — | — | — | — | 14 | 15 | 18 | 15 | 18 | — |
| Totaux | 735 | 702 | 750 | 752 | 729 | 602 | 752 | 778 | 759 | 806 | 800 | 788 |
| Moyennes ... | 15.5 | 14.0 | 15.3 | 15.3 | 14.8 | 12.2 | 15.0 | 15.5 | 15.1 | 16.1 | 16.0 | 16.7 |

## TABLEAU

| Expérience 19 | Lots irradiés : longueur des racines et des tiges (en mm.) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/60 H | | 1/12 H | | 1/3 H | | 1 H | | 5 H | | 20 H | |
| | R | T | R | T | R | T | R | T | R | T | R | T |
| 1 | 37 | 11 | 27 | 12 | 30 | 7 | 32 | 14 | 18 | 4 | 17 | 7 |
| 2 | 40 | 15 | 32 | 11 | 31 | 11 | 31 | 14 | 21 | 7 | 15 | 7 |
| 3 | 28 | 15 | 31 | 12 | 38 | 11 | 28 | 11 | 22 | 10 | 14 | 8 |
| 4 | 37 | 15 | 28 | 12 | 50 | 11 | 35 | 13 | 16 | 10 | 15 | 4 |
| 5 | 34 | 10 | 24 | 7 | 42 | 11 | — | — | 18 | 8 | 17 | 8 |
| 6 | 33 | 10 | 33 | 12 | 35 | 12 | 30 | 11 | 19 | 9 | 12 | 7 |
| 7 | 38 | 12 | 25 | 12 | 25 | 12 | 26 | 10 | 25 | 10 | 15 | 7 |
| 8 | 30 | 14 | 25 | 14 | 33 | 15 | 31 | 12 | 17 | 7 | 15 | 7 |
| 9 | 25 | 7 | 30 | 15 | 32 | 11 | 30 | 12 | 18 | 9 | 14 | 8 |
| 10 | 25 | 13 | 46 | 16 | 40 | 12 | 25 | 11 | 25 | 9 | 13 | 10 |
| 11 | 39 | 14 | 25 | 9 | 21 | 7 | 28 | 9 | 17 | 7 | 16 | 8 |
| 12 | 37 | 16 | 30 | 10 | 27 | 8 | 28 | 12 | 23 | 8 | 13 | 8 |
| 13 | 26 | 15 | 33 | 14 | 28 | 13 | 23 | 8 | 26 | 8 | 15 | 9 |
| 14 | 30 | 10 | 22 | 9 | 30 | 12 | 36 | 9 | 23 | 10 | 13 | 9 |
| 15 | 31 | 14 | 37 | 13 | 35 | 15 | 26 | 10 | 23 | 10 | 13 | 7 |
| 16 | 30 | 10 | 41 | 11 | 30 | 12 | 28 | 10 | 16 | 11 | 20 | 9 |
| 17 | 45 | 15 | 34 | 15 | 27 | 11 | 25 | 10 | 14 | 10 | 15 | 7 |
| 18 | 35 | 12 | 36 | 11 | 26 | 10 | 33 | 12 | 22 | 8 | 13 | 7 |
| 19 | 30 | 12 | 35 | 12 | 40 | 14 | 35 | 14 | 28 | 11 | 14 | 7 |
| 20 | 37 | 15 | 28 | 11 | 24 | 9 | 30 | 12 | 26 | 10 | 12 | 7 |
| 21 | 28 | 12 | 34 | 11 | 25 | 8 | 34 | 11 | 25 | 7 | 17 | 8 |
| 22 | 31 | 12 | 26 | 8 | 22 | 8 | 37 | 10 | 22 | 8 | 14 | 7 |
| 23 | 31 | 12 | 32 | 10 | 30 | 9 | 35 | 12 | 17 | 10 | 19 | 9 |
| 24 | 32 | 15 | 30 | 12 | 25 | 10 | 28 | 10 | 30 | 9 | 15 | 4 |
| 25 | 28 | 10 | 35 | 16 | 32 | 12 | 32 | 12 | 20 | 9 | 15 | 7 |
| 26 | 41 | 17 | 27 | 14 | 30 | 13 | 30 | 10 | 21 | 11 | 11 | 7 |
| 27 | 36 | 12 | 29 | 0 | 22 | 7 | 30 | 12 | 28 | 10 | 12 | 8 |
| 28 | 42 | 12 | 29 | 10 | 25 | 7 | 26 | 8 | 22 | 15 | 12 | 4 |
| 29 | 21 | 10 | 37 | 15 | 42 | 16 | 25 | 12 | 22 | 10 | 12 | 9 |
| 30 | 25 | 12 | 30 | 10 | 25 | 7 | 38 | 16 | 25 | 9 | 10 | 7 |
| 31 | 41 | 12 | 28 | 7 | 28 | 12 | 25 | 16 | 24 | 8 | 12 | 7 |
| 32 | 31 | 10 | 31 | 10 | 29 | 11 | 28 | 12 | 25 | 8 | 10 | 8 |
| 33 | 32 | 12 | 55 | 16 | 29 | 9 | 47 | 15 | 22 | 9 | 10 | 7 |
| 34 | 28 | 12 | 33 | 13 | 35 | 10 | 25 | 10 | 19 | 9 | 14 | 7 |
| 35 | 32 | 16 | 35 | 11 | 38 | 15 | 28 | 9 | 16 | 9 | 15 | 7 |
| 36 | 31 | 12 | 22 | 8 | 35 | 12 | 21 | 9 | 17 | 8 | 15 | 10 |
| 37 | 41 | 13 | 25 | 10 | 25 | 8 | 28 | 9 | 21 | 9 | 17 | 6 |
| 38 | 35 | 11 | 35 | 16 | 32 | 9 | 23 | 10 | 25 | 8 | 12 | 10 |
| 39 | 30 | 12 | 26 | 8 | 33 | 10 | 38 | 16 | 25 | 9 | 15 | 7 |
| 40 | 42 | 12 | 33 | 10 | 35 | 10 | 23 | 9 | 19 | 9 | 15 | 8 |
| 41 | 36 | 14 | 28 | 12 | 35 | 15 | 27 | 12 | 20 | 8 | 13 | 7 |
| 42 | 30 | 11 | 15 | 7 | 24 | 9 | 30 | 12 | 20 | 8 | 13 | 7 |
| 43 | 23 | 9 | 34 | 11 | 21 | 8 | 25 | 15 | 19 | 12 | 17 | 7 |
| 44 | 26 | 11 | 23 | 8 | 25 | 9 | 21 | 8 | 15 | 9 | 16 | 7 |
| 45 | 34 | 17 | 23 | 9 | 25 | 10 | 27 | 9 | 17 | 10 | 15 | 8 |
| 46 | 29 | 13 | 24 | 7 | 35 | 12 | 32 | 12 | 14 | 10 | 13 | 8 |
| 47 | 34 | 9 | 30 | 10 | 30 | 15 | 42 | 10 | 15 | 7 | 13 | 8 |
| 48 | 29 | 10 | 32 | 10 | 36 | 10 | 27 | 10 | 25 | 11 | 14 | 7 |
| 49 | — | — | 30 | 10 | 40 | 11 | 41 | 9 | 23 | 12 | 15 | 8 |
| 50 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Totaux | 1566 | 595 | 1493 | 537 | 1512 | 524 | 1433 | 539 | 1030 | 447 | 692 | 365 |
| Moyennes | 32.6 | 12.3 | 30.5 | 10.9 | 30.8 | 10.6 | 29.8 | 11.2 | 21.0 | 9.1 | 14.2 | 7.5 |

Lots témoins :
longueur des racines et des tiges (en mm.)

| Tém. 1 | | Tém. 2 | | Tem. 3 | | Tém. 4 | | Tém. 5 | | Tém. 6 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | T | R | T | R | T | R | T | R | T | R | T |
| 23 | 12 | 28 | 16 | 32 | 10 | 34 | 15 | 30 | 10 | 26 | 11 |
| 35 | 12 | 28 | 11 | 22 | 0 | 32 | 11 | 31 | 10 | 32 | 11 |
| 30 | 12 | 42 | 14 | 29 | 15 | 30 | 11 | 47 | 14 | 47 | 20 |
| 55 | 15 | 28 | 10 | 34 | 11 | 35 | 10 | 50 | 17 | 37 | 16 |
| 30 | 10 | 23 | 7 | 38 | 17 | 32 | 12 | 35 | 14 | 38 | 15 |
| 35 | 14 | 25 | 4 | 30 | 9 | 24 | 8 | 32 | 12 | 35 | 17 |
| 23 | 9 | 25 | 7 | 36 | 13 | 32 | 8 | 28 | 10 | 35 | 17 |
| 32 | 5 | 32 | 14 | 28 | 12 | 28 | 7 | 23 | 9 | 29 | 15 |
| 40 | 12 | 27 | 12 | 25 | 10 | 31 | 14 | 40 | 11 | 35 | 18 |
| 39 | 16 | — | — | 29 | 11 | 42 | 13 | 25 | 11 | 38 | 15 |
| 30 | 13 | 36 | 13 | 25 | 10 | 43 | 12 | 25 | 8 | 21 | 10 |
| 32 | 12 | 33 | 12 | 31 | 15 | 27 | 10 | 30 | 8 | 32 | 13 |
| 33 | 12 | 32 | 12 | 29 | 11 | 38 | 16 | 28 | 10 | 25 | 10 |
| 29 | 10 | 26 | 8 | 32 | 12 | 36 | 13 | — | — | 35 | 11 |
| 50 | 15 | 55 | 13 | 32 | 11 | 50 | 16 | 35 | 16 | 30 | 15 |
| 27 | 14 | 30 | 13 | 26 | 14 | 36 | 12 | 30 | 15 | 30 | 10 |
| 31 | 14 | 22 | 10 | 29 | 9 | 43 | 16 | 60 | 17 | 38 | 15 |
| 30 | 15 | 38 | 9 | 26 | 9 | 25 | 14 | 35 | 15 | 32 | 14 |
| 30 | 12 | 43 | 20 | 32 | 14 | 33 | 12 | 33 | 14 | 32 | 13 |
| 23 | 9 | 30 | 10 | 25 | 12 | 34 | 16 | 34 | 12 | 49 | 17 |
| 31 | 14 | — | — | 28 | 10 | 43 | 15 | 27 | 10 | 35 | 16 |
| 33 | 14 | 51 | 16 | 49 | 17 | 33 | 16 | 42 | 16 | 49 | 19 |
| 28 | 12 | 38 | 12 | 30 | 15 | 38 | 14 | 40 | 16 | 23 | 10 |
| 34 | 15 | 28 | 9 | 33 | 13 | 40 | 17 | 27 | 10 | 31 | 11 |
| 30 | 13 | 23 | 12 | 28 | 12 | 38 | 15 | 27 | 10 | 48 | 16 |
| 29 | 9 | 26 | 14 | 31 | 12 | 28 | 16 | 28 | 16 | 34 | 16 |
| 34 | 15 | 32 | 10 | 37 | 16 | 28 | 12 | 40 | 14 | 27 | 15 |
| 32 | 13 | 22 | 8 | 31 | 12 | 32 | 13 | 25 | 16 | 30 | 15 |
| 30 | 12 | 33 | 12 | 49 | 16 | 27 | 10 | 35 | 17 | 25 | 10 |
| 34 | 15 | 32 | 11 | 30 | 11 | 22 | 4 | 32 | 15 | 38 | 21 |
| 27 | 9 | 41 | 16 | 34 | 11 | 30 | 15 | 33 | 15 | 33 | 12 |
| 28 | 14 | 33 | 13 | — | — | 43 | 15 | 31 | 19 | 21 | 12 |
| 28 | 12 | 30 | 12 | 37 | 9 | 27 | 9 | 34 | 11 | 48 | 13 |
| 32 | 14 | 32 | 14 | 35 | 11 | 25 | 9 | 40 | 15 | 47 | 24 |
| 33 | 12 | 40 | 10 | 21 | 8 | 30 | 9 | — | — | 35 | 12 |
| 26 | 11 | 32 | 10 | 25 | 9 | 36 | 10 | 25 | 8 | 35 | 14 |
| 28 | 11 | 29 | 10 | 27 | 9 | 33 | 12 | 32 | 16 | 31 | 12 |
| 17 | 7 | 36 | 15 | 30 | 12 | 36 | 14 | 25 | 11 | 35 | 20 |
| 33 | 12 | 28 | 14 | 31 | 11 | 28 | 9 | 34 | 17 | 21 | 8 |
| 22 | 7 | 35 | 11 | 41 | 15 | 22 | 8 | 29 | 13 | 40 | 19 |
| 22 | 9 | 40 | 13 | 32 | 12 | 30 | 10 | 27 | 14 | 31 | 15 |
| 33 | 12 | 43 | 17 | 31 | 11 | 44 | 10 | 32 | 17 | 36 | 11 |
| 28 | 10 | 33 | 10 | 30 | 12 | 28 | 9 | 42 | 17 | 26 | 11 |
| 27 | 9 | 23 | 12 | 45 | 16 | 35 | 12 | 36 | 18 | 28 | 10 |
| 33 | 12 | 35 | 13 | 30 | 12 | 34 | 16 | 30 | 11 | 29 | 9 |
| 29 | 14 | 33 | 15 | 28 | 9 | 30 | 10 | 35 | 16 | 33 | 15 |
| 30 | 10 | 35 | 12 | 21 | 12 | 46 | 13 | 22 | 7 | 37 | 18 |
| 25 | 10 | 34 | 10 | 34 | 15 | 32 | 12 | 30 | 16 | — | — |
| 36 | 17 | 29 | 10 | — | — | 32 | 11 | 41 | 15 | — | — |
| 29 | 15 | 35 | 9 | — | — | 30 | 11 | 39 | 11 | — | — |
| 538 | 602 | 1564 | 565 | 1468 | 553 | 1665 | 602 | 1591 | 630 | 1581 | 667 |
| 30.7 | 12.0 | 32.6 | 11.7 | 31.2 | 11.7 | 33.3 | 12.0 | 33.1 | 13.1 | 33.6 | 14.1 |

# TABLEAU

| Expérience 19 | Lots irradiés : longueur des racines, tiges, radicelles (en mm.) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1/60 H | | | 1/12 H | | | 1/3 H | | | 1 H | | | 5 H | | |
| | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. |
| 1 | 87 | 34 | 28 | 68 | 37 | 30 | 62 | 21 | 0 | 54 | 44 | 29 | 23 | 14 | 0 |
| 2 | 74 | 32 | 13 | 64 | 34 | 33 | 55 | 29 | 11 | 49 | 33 | 26 | 22 | 16 | 0 |
| 3 | 67 | 35 | 24 | 74 | 30 | 35 | 70 | 32 | 6 | 60 | 36 | 11 | 30 | 19 | 0 |
| 4 | 82 | 30 | 11 | 63 | 32 | 35 | 84 | 34 | 7 | 55 | 32 | 9 | 16 | 21 | 1 |
| 5 | 82 | 35 | 32 | 55 | 15 | 13 | 64 | 36 | 12 | 50 | 33 | 27 | 20 | 13 | 0 |
| 6 | 73 | 30 | 16 | 77 | 28 | 17 | 72 | 27 | 17 | 48 | 27 | 13 | 20 | 17 | 0 |
| 7 | 76 | 40 | 7 | 53 | 32 | 41 | 48 | 32 | 19 | 60 | 35 | 56 | 38 | 19 | 2 |
| 8 | 65 | 36 | 26 | 44 | 45 | 85 | 71 | 44 | 16 | 64 | 38 | 11 | 17 | 11 | 0 |
| 9 | 59 | 26 | 9 | 75 | 47 | 27 | 70 | 20 | 1 | 42 | 30 | 12 | 19 | 23 | 0 |
| 10 | 62 | 32 | 49 | 90 | 37 | 42 | 83 | 40 | 71 | 53 | 30 | 18 | 37 | 17 | 1 |
| 11 | 70 | 40 | 55 | 63 | 28 | 7 | 43 | 19 | 0 | 52 | 33 | 5 | 24 | 15 | 0 |
| 12 | 80 | 39 | 58 | 61 | 34 | 17 | 58 | 32 | 2 | 55 | 25 | 3 | 25 | 15 | 0 |
| 13 | 59 | 50 | 46 | 58 | 32 | 35 | 56 | 35 | 21 | 62 | 28 | 0 | 41 | 16 | 1 |
| 14 | 60 | 30 | 14 | 47 | 22 | 13 | 70 | 35 | 29 | 56 | 26 | 6 | 24 | 15 | 0 |
| 15 | 50 | 29 | 10 | 78 | 37 | 39 | 67 | 50 | 43 | 50 | 26 | 43 | 33 | 23 | 0 |
| 16 | 69 | 30 | 12 | 82 | 36 | 27 | 60 | 38 | 52 | — | — | — | 19 | 23 | 0 |
| 17 | 85 | 40 | 60 | 76 | 39 | 10 | 64 | 35 | 12 | 57 | 28 | 18 | 16 | 18 | 0 |
| 18 | 71 | 32 | 35 | 72 | 43 | 24 | 50 | 31 | 31 | 76 | 42 | 53 | 39 | 15 | 0 |
| 19 | 75 | 30 | 65 | 63 | 40 | 48 | 63 | 43 | 51 | 67 | 34 | 14 | 40 | 19 | 0 |
| 20 | 75 | 38 | 26 | 62 | 32 | 20 | 56 | 25 | 15 | 66 | 25 | 10 | 36 | 19 | 0 |
| 21 | 60 | 27 | 3 | 62 | 37 | 57 | 60 | 28 | 7 | 66 | 30 | 16 | 33 | 13 | 0 |
| 22 | 65 | 32 | 79 | 52 | 28 | 11 | 55 | 31 | 0 | 60 | 30 | 34 | 28 | 18 | 0 |
| 23 | 60 | 33 | 52 | 61 | 34 | 6 | 63 | 31 | 21 | 55 | 28 | 11 | 26 | 19 | 1 |
| 24 | 72 | 46 | 53 | 82 | 40 | 32 | 61 | 35 | 1 | 64 | 37 | 83 | 57 | 54 | 2 |
| 25 | 34 | 27 | 51 | 56 | 52 | 13 | 65 | 35 | 17 | 60 | 22 | 3 | 19 | 15 | 0 |
| 26 | 82 | 44 | 118 | 61 | 38 | 27 | 44 | 41 | 30 | 60 | 25 | 38 | 29 | 18 | 1 |
| 27 | 80 | 45 | 50 | — | — | — | 40 | 20 | 0 | 42 | 25 | 3 | 33 | 16 | 0 |
| 28 | 67 | 35 | 56 | 65 | 31 | 16 | 55 | 20 | 8 | 55 | 25 | 13 | 30 | 25 | 0 |
| 29 | 44 | 29 | 27 | 80 | 40 | 7 | 86 | 45 | 48 | 65 | 45 | 25 | 28 | 18 | 0 |
| 30 | 53 | 39 | 40 | 63 | 32 | 36 | 60 | 20 | 0 | 45 | 25 | 50 | 30 | 20 | 0 |
| 31 | 86 | 39 | 12 | 62 | 28 | 18 | 53 | 40 | 32 | 73 | 32 | 29 | 14 | 15 | 0 |
| 32 | 73 | 31 | 7 | 55 | 30 | 31 | 54 | 40 | 76 | 50 | 30 | 40 | 32 | 18 | 0 |
| 33 | 70 | 41 | 92 | 98 | 37 | 47 | 55 | 28 | 25 | 46 | 25 | 40 | 27 | 19 | 0 |
| 34 | 56 | 40 | 10 | 67 | 35 | 15 | 62 | 32 | 8 | 40 | 20 | 0 | 22 | 14 | 0 |
| 35 | 66 | 38 | 86 | 70 | 34 | 25 | 64 | 48 | 52 | 65 | 35 | 68 | 19 | 18 | 0 |
| 36 | 53 | 31 | 30 | 62 | 22 | 10 | 72 | 31 | 0 | 40 | 32 | 11 | 23 | 17 | 0 |
| 37 | 85 | 32 | 40 | 56 | 25 | 11 | 53 | 25 | 0 | 74 | 37 | 10 | 28 | 18 | 1 |
| 38 | 70 | 34 | 13 | 80 | 45 | 32 | 80 | 34 | 7 | 37 | 22 | 0 | 40 | 26 | 5 |
| 39 | 79 | 41 | 28 | 62 | 23 | 3 | 60 | 33 | 60 | 45 | 35 | 29 | 30 | 18 | 1 |
| 40 | 90 | 37 | 49 | 76 | 32 | 22 | 78 | 34 | 35 | 35 | 30 | 4 | 25 | 13 | 0 |
| 41 | 71 | 42 | 6 | 72 | 30 | 22 | 65 | 40 | 45 | 54 | 35 | 36 | 23 | 15 | 0 |
| 42 | 61 | 32 | 6 | — | — | — | 45 | 23 | 3 | 59 | 26 | 0 | 25 | 19 | 0 |
| 43 | 54 | 24 | 8 | 70 | 34 | 26 | 44 | 24 | 5 | 63 | 28 | 9 | 24 | 23 | 0 |
| 44 | 57 | 25 | 6 | 54 | 25 | 15 | 55 | 28 | 6 | 62 | 30 | 15 | 15 | 17 | 0 |
| 45 | 92 | 49 | 19 | 56 | 48 | 9 | 62 | 24 | 18 | 66 | 25 | 13 | 23 | 18 | 0 |
| 46 | 54 | 35 | 57 | 55 | 24 | 1 | 54 | 49 | 40 | 49 | 27 | 25 | 20 | 17 | 0 |
| 47 | 93 | 32 | 10 | 68 | 34 | 3 | 55 | 47 | 33 | 63 | 30 | 9 | 14 | 16 | 0 |
| 48 | 73 | 29 | 18 | 57 | 30 | 30 | 58 | 25 | 31 | — | — | — | 38 | 28 | 0 |
| 49 | — | — | — | 64 | 35 | 17 | 80 | 37 | 29 | — | — | — | 29 | 23 | 0 |
| 50 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Totaux | 3326 | 1677 | 1622 | 3091 | 1584 | 1140 | 2994 | 1606 | 1063 | 2569 | 1386 | 978 | 1323 | 916 | 16 |
| Moyennes ... | 69.2 | 34.9 | 33.7 | 65.7 | 33.7 | 24.2 | 61.1 | 32.7 | 21.6 | 55.8 | 30.1 | 21.2 | 27.0 | 18.6 | 0.3 |

| | | Lots témoins : longueur des racines, tiges, radicelles (en mm.) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 H | | Témoin 1 | | | Témoin 2 | | | Témoin 3 | | | Témoin 4 | | | Témoin 6 | | |
| T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. | Rac. | T. | Rad. |
| 10 | 0 | 69 | 37 | 60 | 65 | 45 | 61 | 67 | 28 | 20 | 80 | 46 | 47 | 55 | 40 | 26 |
| 11 | 0 | 93 | 44 | 26 | 76 | 50 | 75 | 70 | 27 | 6 | 55 | 35 | 78 | 67 | 32 | 16 |
| 11 | 0 | 51 | 33 | 32 | 53 | 33 | 48 | 70 | 40 | 11 | 57 | 37 | 6 | 87 | 52 | 84 |
| 11 | 0 | 105 | 46 | 50 | 63 | 40 | 52 | 52 | 15 | 2 | 68 | 33 | 59 | 85 | 35 | 57 |
| 10 | 0 | 72 | 28 | 45 | 60 | 30 | 31 | 55 | 37 | 84 | 60 | 34 | 18 | 98 | 48 | 69 |
| 10 | 0 | 72 | 46 | 32 | 60 | 25 | 15 | 63 | 30 | 0 | 50 | 37 | 9 | 79 | 45 | 102 |
| 11 | 0 | 50 | 34 | 47 | 45 | 20 | 2 | 70 | 45 | 56 | 70 | 25 | 23 | 75 | 45 | 57 |
| 11 | 0 | 61 | 19 | 7 | 62 | 28 | 42 | 80 | 34 | 4 | 61 | 45 | 59 | 67 | 48 | 40 |
| 13 | 0 | 70 | 38 | 43 | 66 | 35 | 27 | 75 | 34 | 22 | 65 | 30 | 23 | 87 | 51 | 75 |
| 7 | 0 | 92 | 38 | 51 | 57 | 35 | 49 | 49 | 30 | 45 | 82 | 40 | 74 | 72 | 35 | 61 |
| 12 | 0 | 55 | 38 | 40 | 62 | 45 | 30 | 60 | 25 | 27 | 42 | 30 | 34 | 50 | 30 | 19 |
| 11 | 0 | 82 | 29 | 13 | 50 | 30 | 2 | 30 | 34 | 24 | 70 | 50 | 41 | 68 | 38 | 30 |
| 9 | 0 | 66 | 36 | 28 | 57 | 35 | 24 | 62 | 30 | 70 | 60 | 40 | 54 | 43 | 33 | 77 |
| 14 | 0 | 72 | 27 | 26 | 72 | 30 | 6 | 54 | 40 | 40 | 78 | 45 | 0 | 72 | 26 | 55 |
| 12 | 0 | 95 | 35 | 43 | 88 | 33 | 48 | 60 | 35 | 35 | 75 | 35 | 22 | 61 | 36 | 108 |
| 9 | 0 | 70 | 43 | 28 | 52 | 35 | 72 | 64 | 40 | 17 | 75 | 45 | 79 | 60 | 32 | 1 |
| 12 | 0 | 81 | 40 | 42 | 62 | 25 | 12 | 65 | 35 | 34 | 70 | 42 | 20 | 70 | 38 | 38 |
| 10 | 0 | 92 | 45 | 47 | 70 | 35 | 21 | 55 | 35 | 20 | 61 | 32 | 68 | 63 | 33 | 50 |
| 10 | 0 | 85 | 45 | 17 | 93 | 55 | 85 | 70 | 30 | 4 | 71 | 43 | 70 | 70 | 35 | 35 |
| 18 | 1 | 65 | 35 | 3 | 65 | 30 | 28 | 65 | 30 | 16 | 78 | 40 | 16 | 87 | 35 | 125 |
| 10 | 0 | 57 | 42 | 78 | 99 | 43 | 100 | 60 | 40 | 50 | 77 | 45 | 58 | 64 | 49 | 85 |
| 12 | 0 | 65 | 45 | 32 | 94 | 35 | 51 | 59 | 34 | 33 | 86 | 40 | 6 | 85 | 50 | 35 |
| 11 | 0 | 72 | 34 | 12 | 68 | 25 | 1 | 62 | 32 | 1 | 75 | 52 | 78 | 52 | 32 | 17 |
| 10 | 0 | 70 | 40 | 55 | 52 | 25 | 0 | 96 | 52 | 41 | 70 | 40 | 61 | 68 | 35 | 9 |
| 12 | 0 | 71 | 39 | 47 | 57 | 35 | 50 | 68 | 47 | 26 | 57 | 50 | 68 | 71 | 37 | 61 |
| 9 | 0 | 60 | 27 | 45 | 57 | 40 | 25 | 70 | 44 | 23 | 63 | 40 | 43 | 60 | 37 | 42 |
| 12 | 0 | 80 | 45 | 45 | 57 | 24 | 1 | 53 | 32 | 41 | 67 | 40 | 107 | 65 | 37 | 73 |
| 14 | 0 | 65 | 40 | 64 | 75 | 27 | 23 | 63 | 40 | 42 | 55 | 30 | 39 | 85 | 47 | 25 |
| 10 | 0 | 65 | 38 | 30 | 63 | 32 | 22 | 76 | 47 | 47 | 55 | 20 | 5 | 62 | 25 | 24 |
| 10 | 0 | 55 | 40 | 47 | 85 | 37 | 38 | 62 | 36 | 36 | 73 | 50 | 49 | 81 | 56 | 107 |
| 11 | 0 | 62 | 30 | 28 | 68 | 40 | 33 | 87 | 53 | 58 | 85 | 43 | 33 | 63 | 35 | 29 |
| 11 | 0 | 55 | 40 | 37 | 65 | 40 | 12 | 57 | 44 | 27 | 55 | 34 | 55 | 52 | 30 | 14 |
| 12 | 0 | 67 | 35 | 42 | 67 | 35 | 74 | 68 | 35 | 45 | 53 | 25 | 5 | 83 | 37 | 30 |
| 12 | 0 | 52 | 48 | 50 | 80 | 30 | 0 | 70 | 34 | 31 | 77 | 35 | 25 | 100 | 55 | 85 |
| 11 | 0 | 56 | 35 | 54 | 70 | 25 | 11 | 66 | 42 | 12 | 70 | 30 | 26 | 65 | 33 | 17 |
| 9 | 0 | 60 | 38 | 18 | 64 | 35 | 95 | 40 | 28 | 11 | 68 | 37 | 54 | 60 | 39 | 48 |
| 12 | 0 | 62 | 30 | 40 | 70 | 40 | 83 | 50 | 38 | 74 | 70 | 37 | 55 | 62 | 35 | 46 |
| 8 | 0 | 40 | 23 | 12 | 55 | 35 | 33 | 57 | 34 | 40 | 65 | 24 | 0 | 82 | 50 | 57 |
| 14 | 0 | 72 | 40 | 57 | 62 | 40 | 81 | 60 | 35 | 78 | 57 | 24 | 7 | 48 | 24 | 13 |
| 12 | 0 | 55 | 28 | 1 | 70 | 50 | 105 | 62 | 35 | 12 | 68 | 34 | 43 | 91 | 53 | 87 |
| 11 | 0 | 52 | 30 | 1 | 73 | 40 | 60 | 80 | 43 | 52 | 84 | 35 | 86 | 61 | 38 | 51 |
| 14 | 0 | 85 | 35 | 53 | 60 | 33 | 1 | 58 | 42 | 90 | 58 | 35 | 30 | 74 | 38 | 53 |
| 10 | 0 | 62 | 35 | 43 | 50 | 35 | 115 | 66 | 40 | 35 | 70 | 45 | 61 | 55 | 31 | 12 |
| 18 | 0 | 58 | 42 | 66 | 92 | 45 | 65 | 66 | 35 | 5 | 70 | 50 | 50 | 53 | 30 | 39 |
| 10 | 0 | 68 | 40 | 10 | 70 | 50 | 12 | 77 | 47 | 11 | 70 | 30 | 65 | 60 | 25 | 13 |
| 12 | 0 | 63 | 34 | 64 | 66 | 35 | 74 | 60 | 33 | 61 | 84 | 35 | 22 | 72 | 45 | 65 |
| — | — | 60 | 25 | 10 | 72 | 25 | 27 | 46 | 30 | 30 | 65 | 38 | 12 | 80 | 40 | 28 |
| — | — | 82 | 50 | 39 | — | — | — | 40 | 33 | 64 | 70 | 37 | 67 | — | — | — |
| — | — | 64 | 42 | 66 | — | — | — | — | — | — | 61 | 40 | 60 | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 519 | 1 | 3334 | 1786 | 1867 | 3139 | 1650 | 1922 | 3055 | 1739 | 1613 | 3306 | 1839 | 2070 | 3270 | 1810 | 2280 |
| 11.2 | 0.02 | 68.0 | 32.2 | 38.1 | 66.7 | 35.1 | 40.8 | 62.8 | 36.2 | 33.6 | 67.4 | 37.5 | 42.2 | 69.5 | 38.5 | 48.5 |

lésés dès la deuxième mesure, puisque leur croissance est nettement plus faible que pour les autres lots. La lésion s'accuse davantage à la troisième mesure, et l'on voit qu'elle est maxima pour les radicelles où elle atteint presque 100 %. Parallèlement, on peut admettre que, si pour les lots très faiblement irradiés, il y avait eu excitation, elle aurait dû se traduire sur les radicelles plus particulièrement, les moyennes de longueur auraient dû être plus élevées pour les lots irradiés que pour les lots témoins. Il n'en est rien, ce sont, au contraire, les témoins qui possèdent les plus longues radicelles.

## TABLEAU VI

| Doses (en unités) H | Mesure I | Mesure II | | Mesure III | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Racines : longueur moyenne (en mm.) | Racines : longueur moyenne (en mm.) | Tiges : longueur moyenne (en mm.) | Racines : longueur moyenne (en mm.) | Tiges : longueur moyenne (en mm.) | Radicelles : longueur moyenne (en mm.) |
| 1/60 | 15.5 | 32.6 | 12.3 | 69.7 | 34.9 | 33.7 |
| 1/12 | 14.0 | 30.5 | 10.9 | 65.7 | 33.7 | 24.2 |
| 1/3 | 15.3 | 30.8 | 10.6 | 61.1 | 32.7 | 21.6 |
| 1 | 15.3 | 29 8 | 11.2 | 55.8 | 30.1 | 21.2 |
| 5 | 14.8 | 21.0 | 9.1 | 27.0 | 18.6 | 0.3 |
| 20 | 12.2 | 14.1 | 5.7 | 13.7 | 11.2 | 0.02 |
| Témoin 1 | 15.0 | 30.7 | 12.0 | 68.0 | 36.2 | 38.1 |
| Témoin 2 | 15.5 | 32.6 | 11.7 | 66.7 | 35.1 | 40.8 |
| Témoin 3 | 15.1 | 31.2 | 11.7 | 62.8 | 36.2 | 33.6 |
| Témoin 4 | 16.1 | 33.3 | 12.0 | 67.4 | 37.5 | 42.2 |
| Témoin 5 | 16.0 | 33.1 | 13.1 | — | — | — |
| Témoin 6 | 16.7 | 33.6 | 14.1 | 69.5 | 38.5 | 48.5 |

De toutes les observations faites sur les résultats de cette expérience, on peut donc logiquement conclure que les rayons X n'accélèrent pas la croissance des lentilles.

**Expérience 20.** — Cette expérience a été faite sur 160 haricots flageolets verts divisés en 16 lots de dix haricots. Huit lots servent de témoins, les huit autres sont irradiés à l'état sec avec des doses différentes de rayons X : 1/12, 1/4, 1/2, 1, 3, 5, 10, 20 H, puis mis aussitôt en germination. Les mesures ont eu lieu deux fois, sept et

quatorze jours après la mise en germination ; elles ont porté sur les racines.

Les valeurs moyennes d'accroissement sont données dans le Tableau VII. On y voit que les rayons de 0,13 à 0,25 U. Å. n'excitent pas la croissance des haricots.

**Expérience 21.** — Cet essai porte sur 420 graines de blé germées de 5 mm. de longueur de racine ; elles ont été divisées en 14 lots de 30 plantes chacun ; sept lots servent de témoins ; les sept autres lots sont irradiés avec des doses de 1/12, 1/4, 1, 5, 15, 40 H. Les mesures ont eu lieu quatre fois : trois, cinq, sept et neuf jours après l'irradiation ; elles portent sur la longueur des deux premières feuilles. Le Tableau VII donne les moyennes des résultats obtenus.

## TABLEAU VII

| Doses (en unités H) | Phaseolus vulgaris : longueur moyenne des racines (en mm.) | | Triticum sativum : longueur moyenne des deux premières feuilles (en mm.) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Mesure I | Mesure II | Mesure I | Mesure II | Mesure III | Mesure IV |
| 1/12 | 29.7 | 46.3 | 25.5 | 63.3 | 120.7 | 155.9 |
| 1/4 | 34.6 | 57.0 | 25.5 | 68.2 | 119.2 | 156.4 |
| 1/2 | 44.6 | 61.7 | 24.5 | 66.8 | 119.0 | 152.3 |
| 1 | 40.2 | 58.0 | 26.0 | 71.8 | 125.2 | 160.9 |
| 3 | 43.4 | 72.7 | — | — | — | — |
| 5 | 41.3 | 72.0 | 22.2 | 48.1 | 96.7 | 124.2 |
| 10 | 32.4 | 87.2 | — | — | — | — |
| 15 | — | — | 17.3 | 22.3 | 29.3 | 32.5 |
| 20 | 40.0 | 77.7 | — | — | — | — |
| 40 | — | — | 16.6 | 20.4 | 23.1 | 24.7 |
| Témoin 1 | 41.8 | 64.8 | 22.7 | 63.6 | 121.0 | 162.1 |
| Témoin 2 | 43.4 | 68.2 | 25.9 | 69.1 | 119.7 | 155.2 |
| Témoin 3 | 40.0 | 60.3 | 25.3 | 66.0 | 118.9 | 151.6 |
| Témoin 4 | 38.9 | 57.7 | 26.4 | 69.8 | 125.6 | 161.0 |
| Témoin 5 | 42.0 | 58.5 | 27.1 | 72.1 | 129.3 | 163.4 |
| Témoin 6 | 47.0 | 89.1 | 23.2 | 63.7 | 118.4 | 147.5 |
| Témoin 7 | 47.0 | 89.4 | 24.0 | 62.0 | 116.0 | 147.3 |
| Témoin 8 | 44.0 | 79.2 | — | — | — | — |

L'examen des diverses mesures faites sur le blé ne permet de déceler aucune excitation de la croissance des lots irradiés, puisque

l'accroissement le plus fort appartient, pour toutes les mesures, au témoin 5. Cependant, parmi les plantes soumises aux rayons, le lot irradié 1 H se montre, dans toutes les mesures, nettement plus en avance que les autres, et l'on peut se demander si la dose de 1 H n'accélère pas le développement. En effet, si l'excitation exercée par les rayons était de faible intensité, il se pourrait que, dans l'expérience 21, le lot irradié 1 H fût, avant toute action des rayons, constitué de graines de faible vitalité et que, dans ce cas, l'effet excitant n'ait pas été perçu. Si, au contraire, la dose de 1 H n'est pas excitante, l'avance de ce lot sur les autres doit s'expliquer par une vitalité plus grande des plantes qui le constituent. J'ai cherché laquelle des deux hypothèses était la vraie. J'ai dans ce but fait l'expérience suivante :

**Expérience 22.** — 180 graines de blé germées de 5 mm. de longueur de racine sont divisées en six lots de 30 plantes chacun ; trois servent de témoins ; les trois autres reçoivent chacun 1 H. Les mesures ont eu lieu trois fois : deux, quatre et six jours après l'irradiation. Le Tableau VIII donne les valeurs moyennes des résultats obtenus.

## TABLEAU VIII

| Doses (en unités H) | Triticum sativum : longueur moyenne des deux premières feuilles (en mm) | | |
|---|---|---|---|
| | Mesure I | Mesure II | Mesure III |
| 1 | 19.8 | 64.3 | 122 |
| 1 | 20.0 | 63.9 | 118.9 |
| 1 | 20.6 | 69.50 | 125.7 |
| Témoin 1 | 23.9 | 71.40 | 125.8 |
| Témoin 2 | 21.9 | 69.7 | 120.9 |
| Témoin 3 | 20.6 | 68.8 | 122.5 |

Ce tableau montre nettement que la dose de 1 H ne provoque aucune accélération de la croissance, puisque de semblables variations se remarquent chez les irradiés et les témoins. Si dans l'expérience précédente le lot irradié 1 H accusait une croissance supérieure à celle des autres lots irradiés, il faut l'expliquer par une vitalité plus grande des plantes constituant ce lot.

On voit donc que, dans les conditions de mes essais, les plantes irradiées avec de faibles doses n'ont jamais montré aucune accélération de croissance.

### 3. — Discussion.

Les résultats que j'apporte sont en complet accord avec ceux de Schwarz, Czepa et Schindler. Comme chez ces auteurs, chacune de mes expériences comportait un grand nombre de plantes, un grand nombre de lots témoins, une grande homogénéité de culture, toutes conditions qui tendent à diminuer, le plus possible, les variations individuelles d'accroissement. Celles-ci peuvent, en effet, être importantes comme permet de le remarquer l'examen de la croissance des lots témoins d'une même expérience. Les différences varient d'ailleurs notablement suivant les espèces. C'est ainsi que des lots de 50 lentilles présentent entre eux de faibles variations, tandis que les expériences faites sur le blé accusent des différences plus notoires.

L'état de la graine au moment où l'on constitue les lots influe aussi sur la précision des résultats. C'est ainsi que des lots de graines germées de longueurs de racine strictement identiques croissent de façon plus homogène que des lots formés de graines sèches ou gonflées. Pour mettre en valeur l'importance des variations individuelles, j'ai fait, sur des graines de blé, l'expérience suivante qui consiste à les diviser en un certain nombre de lots et à observer leur croissance.

**Expérience 23.** — 500 graines de blé sont réparties en dix lots et mises à germer sur du coton humide. Six et dix jours après la mise en germination, on a mesuré la longueur des deux premières feuilles. Les moyennes des résultats obtenus sont donnés dans le Tableau IX.

## TABLEAU IX

| Expérience 23 | Triticum sativum : longueur moyenne des deux premières feuilles (en mm.) | |
|---|---|---|
| | Mesure I | Mesure II |
| Lot 1 | 52.2 | *158.6* |
| Lot 2 | *54.5* | 157.5 |
| Lot 3 | 44.8 | 143.3 |
| Lot 4 | 46.5 | 149.3 |
| Lot 5 | 43.3 | 137.9 |
| Lot 6 | *42.4* | 140.0 |
| Lot 7 | 52.5 | 155.2 |
| Lot 8 | 43.6 | *136.2* |
| Lot 9 | 47.2 | 143.3 |
| Lot 10 | 49.4 | 152.1 |

On voit dans ce Tableau que la croissance des graines de blé est sujette à des variations importantes. Lors de la première mesure, les lots extrêmes, longs respectivement de 54,5 et 42,4 présentent entre eux une différence de 22 %. Lors de la deuxième mesure, on saisit encore une variation sensible entre les lots 1 et 8, la longueur des deux premières feuilles étant pour l'un de 158,6 et pour l'autre de 136,2, soit une différence de 14 %.

L'obtention de ces résultats prouve.que, pour affirmer l'effet excitant des rayons X, il est nécessaire d'obtenir pour les doses soi-disant accélérantes, des moyennes qui ne soient pas comprises dans l'échelle de variations des témoins. Il apparaît, en outre, que, si l'excitation est de faible intensité, les expériences, réalisées avec des objets sujets à de grandes différences d'accroissement, permettront difficilement d'émettre une opinion décisive sur l'action des rayons. Au contraire, les essais entrepris avec des graines à croissance homogène peuvent être utiles à cet égard ; la lentille, par exemple, constitue un excellent matériel d'étude.

De l'ensemble des faits observés, il résulte que la connaissance de l'action biologique des faibles doses de rayons X ne peut se rechercher sur les plantes qu'en évitant le plus possible les variations individuelles d'accroissement. L'historique que j'ai rappelé, au début de ce chapitre, montre que peu d'auteurs ont tenté de respecter ce facteur. On remarque, en effet, que :

1° Certains d'entre eux n'expérimentent que sur peu de graines et ne reproduisent leurs essais qu'un nombre très restreint de fois.

2° Tous les auteurs, à l'exception de Schwarz, Czepa, Schindler et moi-même, n'emploient dans leurs expériences qu'un seul lot témoin.

3° Beaucoup d'auteurs cultivent leurs plantes dans des milieux difficilement homogénéisables, terre ou sciure de bois par exemple. Il est possible que des lots irradiés, se trouvant placés dans de meilleures conditions que le lot témoin, manifestent un accroissement plus rapide, sans que l'irradiation en soit la cause déterminante.

Il est également important de noter que bien des partisans de l'excitation varient d'un essai à l'autre les conditions d'expériences.

Il semblerait cependant logique d'assurer les résultats obtenus par l'apport de nouveaux chiffres. Quelques auteurs parlent bien d'expériences, qui renouvelées ont conduit aux mêmes conclusions, mais ils ne les détaillent pas, ce qui n'entraîne pas la conviction. Si les rayons X excitaient réellement la croissance des plantes dans des conditions déterminées, ce n'est que par l'apport de nombreuses

expériences que serait démontré ce pouvoir accélérateur, et il faut reconnaître que nous ne trouvons rien de semblable dans la littérature.

**Conclusion:** Des expériences que j'ai réalisées sur plus de 1800 graines avec plus de 7.000 mesures, je concluerai que de faibles doses de rayons X de 0,13 à 0,25 U. A. n'excitent pas la croissance des plantes.

## III. — ACTION DE FAIBLES DOSES DE RAYONS X SUR LA VITESSE DE RÉGÉNÉRATION DE PLANTES PRÉALABLEMENT LÉSÉES PAR UN AGENT AUTRE QUE LES RAYONS.

### 1. — Historique

On sait qu'une plante lésée répare plus ou moins rapidement le dommage qu'elle a subi. C'est ainsi que si on sectionne la racine d'une jeune plante un peu en dessous des cotylédons, il apparaît bientôt un certain nombre de radicelles. Il est logique de penser que, si de faibles doses de rayons accélèrent le développement cellulaire, la production des radicelles doit s'effectuer plus rapidement, chez des germes irradiés, que chez des témoins, après section de la racine. J'avais, en 1924, commencé quelques expériences dans ce sens. En 1925, parut, sur ce sujet, un travail de Rochlin et Gleichgewicht (185). Ces auteurs expérimentèrent sur des haricots dont la racine longue de 20 mm. n'avait pas encore de radicelles ; ils coupèrent la pointe de la racine sur une longueur de 4 mm. Ils constatèrent que, pour 1/3 HED jusqu'à 1/2 HED, la régénération était beaucoup plus active que chez les témoins. Les auteurs ajoutent que la marge des doses excitantes de cette plante est beaucoup plus étendue pour ce phénomène de régénération que pour le phénomène de croissance. Ils ont répété cinq fois leurs expériences avec le même succès.

Les essais que j'ai entrepris et que je relate ci-dessous m'ont donné des résultats totalement opposés.

### 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites sur des haricots soissons blancs, des flageolets verts et des lentilles ; les doses ont varié de 1 à 5 H. Les plantes ont été cultivées sur du coton humide. Les racines ont été coupées avant l'apparition des radicelles, soit avant, soit après l'irradiation. La longueur des radicelles a été mesurée au compas pendant les trois jours qui ont suivi la lésion et l'irradiation.

**Expérience 24.** — Cette expérience a été faite sur 30 haricots, dont on a coupé les racines à 5 mm. des cotylédons, 48 heures après l'apparition du germe. Ils ont été divisés en trois lots : l'un a servi de témoins, les deux autres ont reçu des doses de 3 et 5 H aussitôt après la section des racines. Les mesures des radicelles qui sont sorties ont été faites le lendemain et le surlendemain. Les résultats des moyennes figurent dans le Tableau X. On voit qu'il n'y a pas d'excitation mais bien plutôt lésion.

## TABLEAU X

| Expériences | Plantes | Mesures | Doses (en unités H) | Radicelles | | Tiges | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Moyenne de croissance | % de croissance | Moyenne de croissance | % de croissance |
| 24 | Haricots | 1 | témoins | 11.6 | 100 | — | — |
| | | | 3 | 3.0 | 25.7 | — | — |
| | | | 5 | 4.9 | 42 | — | — |
| | | 2 | témoins | 79 | 100 | — | — |
| | | | 3 | 27.7 | 35 | — | — |
| | | | 5 | 37.5 | 47.4 | — | — |
| 25 | Haricots | 1 | témoins | 1.3 | 100 | — | — |
| | | | 3 | 1 | 76.9 | — | — |
| | | | 5 | 0.5 | 38.4 | — | — |
| | | 2 | témoins | 16.0 | 100 | — | — |
| | | | 3 | 9.1 | 56.8 | — | — |
| | | | 5 | 6.2 | 38.7 | — | — |
| | | 3 | témoins | 49.6 | 100 | — | — |
| | | | 3 | 23.6 | 47.5 | — | — |
| | | | 5 | 19.9 | 40.1 | — | — |
| 26 | Haricots | 1 | témoins | 300.3 | 100 | — | — |
| | | | 4 | 233.5 | 77.7 | — | — |
| 27 | Lentilles | 1 | témoins | 340.2 | 100 | 77.0 | 100 |
| | | | 4 | 102.4 | 30 | 46.5 | 60.3 |
| 28 | Lentilles | 1 | témoins | 42.4 | 100 | 23.7 | 100 |
| | | | 1 | 23.9 | 56.4 | 26.7 | 112.5 |

**Expérience 25.** — Elle a été faite sur les haricots précédents, auxquels on a de nouveau sectionné les radicelles et l'axe hypocotylé, juste au-dessous des cotylédons. Le lendemain, aucune radi-

celle n'était apparue, mais le surlendemain et les deux jours suivants des mesures ont pu être faites et ont donné les résultats relatés dans le Tableau X. On n'y décèle aucune excitation ; les plantes irradiées semblent, au contraire, se montrer moins aptes à réagir que les témoins.

**Expérience 26.** — Cette expérience a été faite dans des conditions analogues à celles de Rochlin et Gleichgewicht. Vingt haricots verts, sur le point de former des radicelles, reçoivent une dose de 4 H, puis on coupe 5 mm. de racine aux irradiés et aux témoins. Le lendemain, tous les haricots ont des radicelles. On mesure, trois jours après l'irradiation, la longueur totale des radicelles, et l'on obtient, comme l'indique le Tableau X, une moyenne de 233,5 pour les irradiés et de 300,3 pour les témoins. Il n'y a pas eu d'activation.

**Expérience 27.** — 40 lentilles de 15 mm. de longueur de racine ont été divisées en deux lots ; l'un sert de témoin, l'autre reçoit 4 H. Les racines sont coupées après irradiation. Trois jours plus tard, des radicelles sont apparues sur tous les exemplaires du lot témoin, tandis qu'il n'en existe point sur le lot irradié. Neuf jours après l'irradiation, les mesures de croissance effectuées sur la longueur des tiges et la longueur totale des radicelles montrent, comme l'indique le Tableau X, qu'il n'y a pas d'excitation à la régénération.

**Expérience 28.** — 40 lentilles, longues de 10 mm. de racine, sont irradiées (1 H), puis coupées. Sept jours plus tard, on mesure, dans le lot irradié et dans le lot témoin, la longueur des tiges et des radicelles. Les résultats sont donnés dans le Tableau X. On voit qu'il n'y a pas d'excitation à la régénération, les radicelles des irradiés étant plus petites que celles des témoins.

Les résultats des expériences que j'ai réalisées avec des rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å. sont donc en contradiction avec ceux de Rochlin et Gleichgewicht ; ils montrent que les plantes irradiées se régénèrent moins bien pour des doses que ces auteurs considèrent comme excitantes. Ils indiquent principalement que les faibles doses de rayons X employées n'ont pas hâté la régénération des plantes lésées.

## IV. — PHÉNOMÈNES DE PSEUDO-EXCITATION.

### 1. — Historique.

Le premier fait qui peut être rangé dans cette catégorie fut obtenu par Molisch, en 1912 (149), avec du radium. Cet auteur irradia des bourgeons au repos hivernal de plusieurs arbustes ; il constata que leur ouverture s'effectuait plus tôt que celle des témoins.

F. Weber (226) entreprit de semblables expériences sur des bourgeons de *Syringa vulgaris* ; il les irradia au mois d'octobre ou de novembre avec des doses de rayons X variant de 26 à 150 H. Toutes ces doses furent efficaces. Le maximum d'effet fut obtenu avec 150 H ; cinq jours après l'irradiation, le bourgeon commençait déjà à se développer. Dans les autres expériences, la date de l'ouverture du bourgeon fut fonction de la dose. Elle fut d'autant plus tardive que l'intensité du rayonnement avait été plus faible. Quant aux témoins, ils n'entrèrent en activité qu'au milieu de décembre.

Des expériences analogues furent entreprises dans la suite par Esdorn (61) : sur des bourgeons de hêtre, par Reiss (183) : sur du lilas ; ces auteurs obtinrent les mêmes résultats que F. Weber. Ce dernier en collaboration avec E. Bersa (229) observa à nouveau le même phénomène sur des bourgeons *d'Utricularia*.

Les auteurs ont cherché à expliquer ces faits. Ceux qu'intéressent l'action biologique des rayons X ont tout d'abord voulu y voir l'effet d'une excitation au développement. Toutefois, F. Weber fait remarquer que l'ouverture des bourgeons se produit d'autant plus rapidement que la dose est plus forte et que, d'autre part, dans les cas de fortes doses (150 H), on observe la production d'un foyer nécrotique situé, pour le lilas, dans une zone où se trouve beaucoup d'oxalate de calcium et qui cause bientôt la mort du bourgeon. F. Weber, ayant constaté une lésion très nette, ne pense pas que le résultat obtenu soit dû à une excitation. Il croit plutôt à la formation de nécrohormones dans les tissus lésés par les rayons ; ces nécrohormones agiraient comme excitant de la division cellulaire des tissus restés sains et provoqueraient un développement précoce.

Pour Reiss, il n'y aurait pas multiplication mitotique, mais simple augmentation de volume et allongement des cellules, ce qui déterminerait le déploiement du bourgeon.

Il m'apparaît également difficile d'expliquer l'épanouissement prématuré des bourgeons irradiés par une action excitante des rayons X. J'ai pu observer, en effet, sur des lentilles des faits analogues qui sont susceptibles d'une toute autre explication (17).

### 2. — Recherches personnelles.

Le phénomène consiste à produire, à l'aide d'une irradiation, le développement de deux bourgeons situés près des cotylédons, à la base de la tige, et qui n'évoluent pas d'ordinaire.

J'ai pour ce faire irradié avec une dose de 8 H un lot de seize lentilles germées (expérience 29), dont la tige avait une longueur de

8 à 10 mm., en ayant soin de *protéger les racines* sous une lame de caoutchouc plombé ; les lentilles ont été ensuite cultivées sur eau, comme il est indiqué dans le chapitre des techniques. Cinq jours après l'irradiation, les deux bourgeons situés à la base de la tige commencèrent à se développer chez toutes les plantes irradiées. Au vingtième jour après l'irradiation, la longueur moyenne des tiges était de 46,5 mm., et les bourgeons avaient formé des tiges accessoires d'une longueur moyenne de 16 mm. pour chacun d'eux.

On pourrait penser que, dans ces conditions, la dose de 8 H est une dose excitant le développement des bourgeons, puisque leur croissance s'effectue, chez les irradiés, alors qu'elle ne se manifeste pas, chez les témoins, et qu'il s'agirait là d'une excitation directe des cellules des bourgeons. La preuve que les rayons X n'ont point par une action directe déterminé les cellules à se diviser peut être facilement fournie. En effet, si en dehors de toute irradiation, on coupe la tige alors qu'elle atteint 10 mm. de longueur (taille des tiges de lentilles sur lesquelles j'ai expérimenté), les bourgeons développent chacun une tige accessoire ; il est indiscutable que, dans ce cas, c'est la lésion de la tige qui a déterminé la croissance des bourgeons. Il reste à savoir si la lésion de la tige créée par les rayons X produit le même phénomène, et si c'est ce mécanisme qui explique les résultats précédents. J'ai pour m'en assurer fait diverses sortes d'expériences :

a) *Irradiation de tiges seules avec de fortes doses.* — J'ai, dans l'expérience 30, appliqué des doses de 20 H et 40 H à 60 lentilles ayant des tiges de 10 mm. de longueur. Les racines, les cotylédons et les bourgeons ont été protégés par du caoutchouc plombé afin de les soustraire à l'action des rayons ; seules les tiges ont été soumises à leur influence. Deux lots témoins ont été préparés ; l'un a eu ses tiges coupées, l'autre est resté intact. J'ai constaté que les bourgeons des plantes irradiées croissaient comme ceux des témoins à tiges coupées. Dix jours après l'irradiation, les moyennes de croissance des tiges ont été les suivantes :

Témoins non opérés : 120,5 mm.

Témoins opérés : 52,3 mm. pour une tige accessoire, 44,6 mm. pour l'autre tige accessoire.

Lot irradié 40 H : 35 mm. pour la tige principale, 45,6 mm. pour une tige accessoire, 20,5 mm. pour l'autre tige accessoire.

Lot irradié 20 H : 45,9 mm. pour la tige principale, 51,8 mm. pour une tige accessoire, 27,2 mm. pour l'autre tige accessoire.

On voit donc que, dans cette expérience, les bourgeons des plantes

irradiées se sont accrus comme ceux des plantes témoins, dont on avait coupé la tige principale. La lésion de cet organe produite, soit par section, soit par action des rayons X, a été suivie du développement des bourgeons.

b) *Irradiation de la plante entière à l'exception des bourgeons et des cotylédons, avec des doses moyennes.* — J'ai, dans l'expérience 31, appliqué sur 20 lentilles de 10 mm. de longueur de tige une dose de 13 H, en protégeant seulement les cotylédons et les bourgeons par du caoutchouc plombé. Vingt jours après l'irradiation, toutes les plantes possédaient deux tiges. Les bourgeons n'ayant pas été soumis à l'action des rayons se sont développés.

c) *Irradiation de la plante totale.* — 40 lentilles de 10 mm. de longueur de tige, irradiées totalement avec une dose de 20 H, n'ont pas développé deux tiges (expérience 32). Les bourgeons ont été lésés comme la tige.

d) *Irradiation de la plante, sauf la racine.* — 20 lentilles de 10 mm. de longueur de tige, irradiées avec une dose de 20 H la racine étant protégée par une lamelle de caoutchouc plombé, n'ont pas développé deux tiges (expérience 33). Ici encore, avec cette forte dose, les bourgeons ont été lésés comme la tige.

### 3. — Interprétation des résultats.

Il ressort de ces diverses séries d'expériences que le développement des bourgeons déterminés par les rayons X est *uniquement dû à un phénomène de suppléance consécutif à une lésion de la tige.*

L'expérience montre, en effet, pour une irradiation de la plante à l'exception de la racine que :

1° Une dose de 20 H arrête le développement de la tige mais lèse suffisamment les bourgeons pour ne pas permettre au phénomène de suppléance de se produire.

2° Une dose de 8 H retarde le développement de la tige mais ne lèse pas assez les bourgeons pour empêcher le phénomène de suppléance d'apparaître.

La preuve de l'exactitude de cette interprétation se trouve dans les résultats expérimentaux suivants :

1° L'irradiation forte (20 ou 40 H) de la tige seule, sans les bourgeons, détermine un développement de ceux-ci tout à fait analogue à celui que provoque la section de la tige au même stade de développement.

2° L'irradiation moins forte (13 H) de la plante entière, à l'exception des cotylédons et des bourgeons, permet également un développement des bourgeons.

3° L'irradiation de la plante entière, racine comprise, ne donne jamais naissance quelle que soit la dose utilisée, au phénomène de suppléance, qui se traduit par le développement des bourgeons.

J'ai recherché, d'autre part, si une dose de rayons inférieure à 8 H appliquée sur des lentilles de 10 mm. de longueur de tige permettrait l'accroissement des deux tiges accessoires. Les racines ont été protégées par des lamelles de caoutchouc plombé pendant l'irradiation ; la dose employée a été de 4 H (expérience 34). Les bourgeons ne se sont développés que sur la moitié des exemplaires. Ce résultat s'explique aisément ; la tige principale n'ayant subi qu'un léger retard de croissance, sa lésion n'a pas été suffisante pour provoquer l'évolution des bourgeons.

En résumé, il apparaît donc que la croissance des bourgeons cotylédonaires de la lentille, déclenchée par l'action des rayons X, est uniquement due à une *lésion* de la tige et non à une *excitation directe* des rayons sur ces bourgeons. Pour que ce phénomène de suppléance se produise, il est indispensable de réaliser certaines conditions ; il faut que :

1° La lésion de la tige soit suffisante ;

2° La dose susceptible de donner à la tige cette lésion suffisante soit incapable de sidérer les bourgeons ;

3° La racine n'ait subi aucune lésion. (Il faut remarquer que dans l'expérience 31, où la racine avait été irradiée et lésée, les bourgeons eux n'avaient pas subi l'action des rayons).

S'il en est bien ainsi, une dose un peu supérieure à 8 H, appliquée sur toute la plante sauf la racine, devra permettre le développement des bourgeons mais d'autant moins intensément que la dose sera plus élevée. C'est ce que l'expérience m'a montré. J'ai obtenu, en effet, en comparant l'action de doses de 8 et 13 H, toutes les autres conditions étant égales, les résultats suivants.

**Expérience 35.** — Elle a été faite sur vingt lentilles, l'irradiation atteignant toute la plante moins la racine protégée par du caoutchouc plombé.

*Irradiation de* 8 *H* : Longueur de la tige principale (en mm.) : 47, 45, 43, 40, 46, 30, 42, 35, 49, 55.

Longueur de la tige accessoire, la plus développée, donnée par un bourgeon : 38, 28, 30, 64, 27, 42, 57, 48, 19, 22.

Longueur de la tige accessoire, la moins développée, donnée par l'autre bourgeon : 37, 10, 9, 35, 15, 10, 23, 9, 5, 0.

*Irradiation de* 13 *H* : Longueur de la tige principale : 45, 40, 35, 40, 40, 41, 34, 36, 35, 35.

Longueur de la tige accessoire, la plus développée, donnée par un bourgeon : 5, 8, 35, 10, 39, 5, 0, 15, 0, 3.

Longueur de la tige accessoire, la moins développée, donnée par l'autre bourgeon : 3, 4, 5, 9, 5, 0, 0, 13, 0, 0.

**Conclusion:** Le développement des bourgeons cotylédonaires des lentilles, se produisant dans des conditions définies à la suite de l'action des rayons X, de 0,13 à 0,25 U.A., ne doit pas être interprété comme un phénomène d'excitation cellulaire directe mais comme un simple phénomène de suppléance, consécutif à la lésion de la tige.

---

## Chapitre II.

# ÉTUDE DE L'ACTION BIOLOGIQUE DE DOSES MOYENNES ET FORTES DE RAYONS X

La recherche de l'action biologique des doses moyennes et fortes de rayons X a fait l'objet de très nombreuses études aussi bien sur les tissus animaux que végétaux. Dans un article, paru en 1922, Léon Loeb (136) résume les résultats généralement obtenus en les classant par ordre d'effet lésant décroissant. L'application de quantités différentes de rayons X entraînerait soit :

La mort cellulaire sans croissance ;

La cessation de l'accroissement ;

Une diminution de l'énergie de croissance suivie par une reprise d'accroissement ;

Un effet nul sur la croissance ;

Une stimulation de la croissance.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que ce dernier point n'est nullement démontré en ce qui concerne les végétaux. Il apparaît, au contraire, que les rayons X n'ont aucune action accélérante sur le développement.

J'ai recherché si les divers effets rappelés par L o e b se manifestaient chez les plantes à la suite d'application de doses moyennes et fortes. Dans ce but, j'ai étudié l'action de quantités différentes de rayons X sur la germination des graines et le développement des plantes.

## I. — ACTION DE DIFFÉRENTES DOSES DE RAYONS X SUR LA GERMINATION DES GRAINES.

J'ai cherché dans cette étude à répondre aux deux questions suivantes :

De très fortes doses de rayons X détruisent-elles le pouvoir germinatif des graines ?

Des doses moyennes de rayons X retardent-elles l'époque d'apparition du germe ?

### 1. — Historique.

En 1904, K o e r n i c k e (107) signala que des doses de plus de 40 H ne retardent pas la germination des graines.

O. H e r t w i g, cité par I v e n (96), aurait constaté, au contraire, une perte du pouvoir germinatif après de fortes irradiations.

C z e p a (51), en 1924, irradia des graines sèches de Phaseolus vulgaris avec des doses de rayons allant jusqu'à 300 H. Il constata que les graines germèrent au même moment que les témoins.

En 1925, j'ai publié (16) des expériences entreprises à ce sujet, dans lesquelles je n'ai pu mettre en évidence aucun arrêt ou retard de la germination comme le montrent les expériences relatées ci-dessous. M a i s i n et M a s y ont signalé également, en 1928, qu'une dose de 60.000 R n'empêche pas la germination de Pisum sativum (138).

### 2. — Recherches personnelles.

Elles ont été effectuées sur des haricots d'espèces différentes (haricots soissons, haricots noirs de Belgique, flageolets verts) et des lentilles. Les graines destinées à une expérience étaient divisées en un certain nombre de lots, les uns étaient irradiés, les autres servaient de témoins. Les graines étaient placées sous les rayons, alors qu'elles étaient sèches ou gonflées préalablement quelques heures entre deux feuilles de coton humide. Immédiatement après l'irradiation, elles ont été mises en germination. A des reprises différentes, j'ai déterminé le nombre de graines germées et ai établi le pourcentage des germes apparus.

# TABLEAU XI

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Mesure I | | Mesure II | | Mesure III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées |
| 36 | Haricots blancs | 32 | sec | 40 | 72 | 7 | 114 | 100 | | |
| | | | | témoins | — | 31 | — | 87 | | |
| 37 | Haricots noirs | 60 | sec | 50 | 24 | 0 | 48 | 46 | 72 | 73 |
| | | | | témoins | — | 30 | — | 86 | | 93 |
| 38 | Haricots noirs | 50 | gonflé 24 h. | 50 | 24 | 52 | 48 | 84 | | |
| | | | | témoins | — | 72 | — | 96 | | |
| 39 | Haricots noirs | 40 | sec | 100 | 48 | 25 | 72 | 55 | 96 | 85 |
| | | | | témoins | — | 15 | — | 70 | | 70 |
| 40 | Haricots verts | 175 | sec | 25 | 76 | 88 | | | | |
| | | | gonflé 6 h. | 25 | 70 | 88 | | | | |
| | | | gonflé 22 h. | 25 | 54 | 92 | | | | |
| | | | gonflé 47 h. | 25 | 29 | 88 | | | | |
| | | | | témoins 1 | — | 96 | | | | |
| | | | | témoins 2 | — | 88 | | | | |
| | | | | témoins 3 | — | 92 | | | | |
| 41 | Haricots verts | 90 | sec | 30 | 34 | 66 | 38 | 86 | 57 | 100 |
| | | | gonflé 16 h. | 30 | 18 | 76 | 22 | 80 | 41 | 100 |
| | | | | témoins | — | 50 | — | 83 | | 97 |
| 42 | Haricots verts | 150 | sec | 40 | 54 | 0 | 71 | 100 | | |
| | | | gonflé 6 h. | 40 | 48 | 86 | 65 | 90 | | |
| | | | gonflé 23 h. | 40 | 31 | 83 | 48 | 100 | | |
| | | | | témoins 1 | — | 76 | — | 86 | | |
| | | | | témoins 2 | — | 6 | — | 76 | | |
| | | | | témoins 3 | — | 83 | — | 100 | | |
| 43 | Haricots verts | 240 | sec | 40 | 24 | 66 | 48 | 93 | | |
| | | | sec | 60 | — | 60 | — | 93 | | |
| | | | | témoins 1 | — | 63 | — | 80 | | |
| | | | | témoins 2 | — | 80 | — | 93 | | |
| 44 | Haricots verts | 80 | sec | 60 | 40 | 90 | 68 | 100 | | |
| | | | gonflé 14 h. | 60 | 26 | 90 | 54 | 100 | | |
| | | | | témoins 1 | — | 87,5 | — | 95 | | |
| | | | | témoins 2 | — | 90 | — | 100 | | |
| 45 | Haricots verts | 40 | sec | 100 | 24 | 60 | 48 | 70 | 78 | 95 |
| | | | | témoins | | 65 | — | 75 | — | 100 |
| 46 | Haricots verts | 60 | sec | 190 | 44 | 90 | | | | |
| | | | | témoins 1 | — | 95 | | | | |
| | | | | témoins 2 | — | 95 | | | | |

**TABLEAU XI** **(Suite)**

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Mesure I | | Mesure II | | Mesure III | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées | Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures) | % de graines germées |
| 47 | Haricots verts | 210 | gonflé 17 h. | 120 | 23 | 43 | 31 | 70 | 57 | 100 |
| | | | | témoins 1 | — | 30 | — | 73 | — | 95 |
| | | | | témoins 2 | — | 26 | — | 66 | — | 100 |
| | | | | témoins 3 | — | 46 | — | 86 | — | 100 |
| | | | | témoins 4 | — | 16 | — | 60 | — | 98 |
| | | | | témoins 5 | — | 30 | — | 83 | — | 100 |
| | | | | témoins 6 | — | 43 | — | 86 | — | 97 |
| 48 | Haricots verts | 36 | sec | 120 | 44 | 100 | | | | |
| | | | | 150 | 44 | 50 | | | | |
| | | | | témoins | — | 70 | | | | |
| 49 | Haricots verts | 50 | sec | 500 | 24 | 12 | 48 | 100 | | |
| | | | | témoins | — | 44 | — | 100 | | |
| 50 | Haricots verts | 175 | sec | 1000 | 24 | 28 | 45 | 97 | 89 | 100 |
| | | | | témoins 1 | — | 48 | — | 100 | — | 100 |
| | | | | témoins 2 | — | 45 | — | 94 | — | 100 |
| | | | | témoins 3 | — | 28 | — | 94 | — | 100 |
| | | | | témoins 4 | — | 51 | — | 91 | — | 97 |
| 51 | Lentilles | 300 | sec | 40 | 24 | 56 | 48 | 98 | | |
| | | | | 70 | — | 37 | — | 97 | | |
| | | | | 100 | — | 60 | — | 96 | | |
| | | | | 150 | — | 50 | — | 97 | | |
| | | | | témoins 1 | — | 56 | — | 100 | | |
| | | | | témoins 2 | — | 58 | — | 100 | | |
| 52 | Lentilles | 60 | sec | 150 | 24 | 32 | 48 | 100 | | |
| | | | | témoins | — | 36 | — | 100 | | |

Le Tableau XI résume les résultats obtenus. J'y ai mentionné la nature des graines, leur nombre, leur état d'hydratation au moment de l'irradiation, la dose de rayons qui leur fut appliquée, les heures auxquelles les mesures ont eu lieu. Pour chaque mesure, le Tableau indique le % de graines germées dans les lots témoins et irradiés. Pour mieux expliciter ce Tableau, je détaillerai l'expérience 50.

**Expérience 50.** — Elle a été faite sur 175 flageolets verts divisés en cinq lots de 35 haricots. Un lot reçoit 1000 H, les quatre autres servent de témoins. Après irradiation, les graines sont mises en germination dans une grande cuve émaillée entre deux feuilles de coton humide, les divers lots étant soigneusement espacés les uns des autres. 24 heures après l'irradiation, j'ai déterminé le nombre

de graines germées dans tous les lots et établi les pourcentages. Le lot irradié 1000 H renfermait 10 graines germées, les quatre lots témoins : 17, 16, 10 et 18, soit en % : 28 pour les haricots soumis aux rayons, 48, 45, 28 et 51 pour les témoins.

45 heures après l'irradiation, les résultats d'une deuxième mesure ont montré que le nombre de graines germées étaient de 34 pour le lot irradié 1000 H, de 35, 33, 33, 32 pour les quatre lots témoins, soit en % : 97 pour les haricots irradiés, 100, 94, 94, 91 pour les témoins.

89 heures après l'irradiation, toutes les graines étaient germées dans tous les lots, à l'exception d'une seule dans le lot témoin 4.

On voit, dans cette expérience, que les graines irradiées ont germé aussi rapidement que les témoins. On aurait cependant pu s'attendre, avec une dose aussi considérable, à obtenir la mort cellulaire sans croissance dont parle L o e b, c'est-à-dire ici la perte du pouvoir germinatif. Il n'en est rien. Bien au contraire, il n'y a même pas eu de retard dans l'apparition du germe.

Toutes les expériences que j'ai réalisées sur des graines sèches ou gonflées, de lentilles, flageolets verts, haricots noirs ou blancs ont abouti aux mêmes résultats (Tableau XI). Je n'ai constaté ni arrêt, ni retard de la germination, tous les irradiés étant germés lorsque les témoins l'étaient. Il y a, toutefois, dans certaines expériences, pour la première mesure, quelques différences entre lots témoins et lots irradiés ; elles sont dues uniquement aux variations individuelles comme on peut s'en rendre compte par l'examen des expériences renfermant de nombreux lots témoins (expériences 50 et 47).

### 3. — Interprétation des résultats.

Dans toutes ces expériences réalisées, soit sur l'action des doses faibles (chapitre I), soit sur celles de doses moyennes et fortes, il résulte que les rayons X ne modifient pas la vitesse d'apparition du germe ; des doses faibles ne l'avancent pas, des doses fortes ne la retardent point.

C z e p a (51) a proposé de ces faits l'explication suivante. Les parties les plus sensibles d'une plante sont les pointes des tiges et des racines où s'effectue la division cellulaire et, par suite, l'accroissement. Le phénomène de germination réside, au contraire, dans sa majeure partie, en allongement par absorption d'eau des cellules préexistantes ; il s'ensuit que les graines germent comme des témoins, mais au moment où les cellules commencent à mitoser, les germes fortement irradiés restent en retard.

Cette explication semble très logique, cependant il faut reconnaître que, 24 heures après la sortie du germe, les plantes irradiées mesurant environ, pour les haricots, 25 mm. de longueur de racine ne sont pas différentes des témoins ; le jour suivant seulement se manifeste un retard, suivi plus ou moins rapidement d'un arrêt de croissance. Or, en étudiant la germination du haricot, à l'aide de coupes microscopiques, j'ai vu qu'après une période relativement longue de gonflement, les cellules de la plante commencent à se diviser peu de temps avant la sortie de la radicule. Les graines peuvent donc effectuer un certain nombre de mitoses sans être immédiatement arrêtées dans leur croissance, et cela pour des doses considérables. Il m'apparaît préférable d'admettre que la cessation d'accroissement ne se produisant qu'après une certaine manifestation d'activité cellulaire, la germination ne peut être par conséquent modifiée par les rayons X.

**Conclusion:** — Les irradiations que j'ai pratiquées sur les graines avec des doses différentes de rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å. n'ont pas modifié la vitesse d'apparition du germe, les graines irradiées et les témoins germant dans le même laps de temps.

## II. — ACTION DE DIFFÉRENTES DOSES DE RAYONS X SUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES.

Les recherches entreprises par les auteurs sur l'accroissement des plantes, après action des rayons, ont été de diverses natures. Les uns ont étudié les effets de l'irradiation sur des graines d'espèces différentes, les autres sur une même espèce à divers états de développement, certains ont varié les conditions de culture, d'autres ont plus particulièrement examiné la réaction de tel ou tel organe. Les expériences que j'ai réalisées sur différentes espèces de plantes répondent aux groupes de questions suivantes :

a) *Pour une espèce donnée* :

1) Comment réagit la plante après l'action de doses différentes de rayons ?

2) Comment réagissent les diverses parties de la plante à l'irradiation ? Quel est le test de sensibilité maxima ?

3) Comment la plante, lésée préalablement par un agent autre que les rayons, se régénère-t-elle après l'action de différentes doses de rayons X ?

b) *Pour des espèces différentes* :

Comment réagissent les diverses plantes après l'action d'une même dose ?

*

## A. Étude macroscopique.

### a) Action des doses différentes de rayons X sur une plante donnée.

#### 1. — Étude de la réaction de la plante à l'irradiation.

##### α) Historique.

En 1904, Koernicke (107) trouva que les rayons X, appliqués à doses suffisantes, ont sur l'accroissement des plantes une action nocive qui se traduit par un retard de croissance ou même par un arrêt total de développement, si l'irradiation a été très intense. Les mêmes effets se manifestent sur des graines sèches, gonflées ou germées, mais après l'application de doses de rayons différentes. Les phénomènes de retard et d'arrêt d'accroissement se remarquent sur la tige et la racine.

Guilleminot (71) nota également que « l'action nocive des hautes doses ressortait avec une netteté indiscutable » des expériences qu'il entreprit sur les graines.

Schmidt, en 1910 (196), admet aussi que de fortes doses de rayons X sont capables de retarder l'accroissement des plantes.

Casemir, en 1910 (41), soumit des germes de fèves à des irradiations de longue durée, de 2 heures 1/2 au minimum, ce qui, dans les conditions de ses irradiations, correspondait environ à une dose de 200 H. Il constata que les rayons avaient un effet lésant immédiat sur les cellules, qui se trouvaient, dès lors, dans l'impossibilité de mitoser.

Halberstädter et Simons (78) partagent également l'opinion que des doses moyennes et fortes de rayons X retardent et arrêtent l'accroissement des plantes irradiées.

Loeb (136) signale, en 1923, que l'effet des rayons X est d'autant plus nuisible que l'irradiation a été plus forte.

Komuro (115) a observé, sur Vicia faba, que de fortes irradiations entravaient le développement de graines irradiées gonflées et, qu'après avoir germé, et s'être développées quelque peu, toute croissance était supprimée. Au surplus, il remarqua que, si la dose dépassait une certaine limite, les variations du radio-effet étaient peu appréciables.

Jungling (103) expérimenta sur Pisum sativum et Vicia faba. Il constata également que, plus la dose était forte, plus l'arrêt de la croissance était manifeste, les mesures étant effectuées sur l'allonge-

gement des racines. L'auteur fit porter, en outre, ses observations sur l'apparition des radicelles et leur implantation sur la racine. Il remarqua que, pour certaines doses, les radicelles n'apparaissaient plus et que, dans les cas où elles se développaient, leur localisation sur la racine variait avec la dose.

Iven (96) écrit, en 1925, que l'effet lésant est d'autant plus intense que la dose reçue par les plantes a été plus grande. Il signale que les phénomènes d'arrêt et de retard de croissance se remarquent sur la tige et la racine. Il note, en outre, que la cessation d'accroissement s'accompagne, suivant les doses employées, par un panachage des feuilles, une coloration de la racine et une réduction des radicelles. Toutefois, à l'encontre de Jungling, l'auteur n'a pas constaté de différence dans la localisation de ces dernières.

De très nombreux auteurs, parmi lesquels Wetterer, Sierp et Robbers, Matoni, Glocker, Rothacker et Schönleber, Petry, Voltz, F. Weber, Martius, Arntzen et Krebs, Bolaffio, Wernhardt, etc. ont également soumis des graines à l'action de doses moyennes et fortes de rayons X, et ils ont à peu près tous observé que les rayons diminuaient ou arrêtaient la vitesse de croissance des plantes. Je n'ai pas cru nécessaire de détailler leurs travaux, car j'aurai l'occasion d'y revenir dans l'étude d'autres points de vue.

D'une manière générale, les auteurs admettent que l'action des rayons X sur l'accroissement des plantes se manifeste :

Par un retard ou un arrêt de croissance, suivant la dose de rayons X reçue ;

Ce retard ou cet arrêt s'observent sur les diverses parties de la plante.

L'effet lésant est d'autant plus marqué qu'est plus grande la quantité de rayons X appliquée. Si, toutefois, la dose dépasse une certaine limite, il n'apparaît plus de différences appréciables dans la manifestation de la radiolésion.

Pour une même espèce, à divers états de développement, graines sèches gonflées et germées, les mêmes réactions se remarquent, les doses lésantes varient.

### β) Recherches personnelles.

Les recherches que j'ai entreprises sur l'action des doses moyennes et fortes de rayons X sur la croissance des plantes m'ont donné des résultats comparables à ceux que je viens de résumer. Mon étude a été cependant plus approfondie et apporte un certain nombre de précisions.

Mes expériences ont porté sur diverses graines : haricots verts, lentilles, blé. Ces graines ont été soumises aux rayons à divers états de développement, soit à l'état de graines sèches, soit à celui de graines gonflées un nombre d'heures déterminé entre deux feuilles de coton humide, ou enfin elles ont été irradiées germées, la longueur des racines étant la même pour toutes et exactement mesurée. Les plantes ont ensuite été cultivées sur eau avec des témoins pendant un temps donné. Des mesures de croissance ont été effectuées. Elles ont porté sur la longueur des racines, tiges, feuilles et radicelles ; je les ai exprimées en mm. et ai établi le % de croissance de chaque organe par rapport à l'accroissement des plantes témoins. Les Tableaux XII-XIII et XIV relatent les résultats de ces expériences. Le Tableau XII résume les essais effectués sur des graines sèches. J'y ai indiqué la nature de la plante irradiée, le nombre d'objets sur lequel a porté l'expérience, la dose de rayons employée, le jour des mesures, et le % de croissance par rapport aux témoins pour les différents organes dont j'ai observé l'accroissement.

Le Tableau XIII renferme les essais réalisés sur des graines irradiées à l'état gonflé et le Tableau XIV les expériences effectuées sur des graines germées. J'y ai mentionné les mêmes données que dans le Tableau XII. Toutefois, dans le Tableau XIII, figure, en surplus, l'indication du nombre d'heures de gonflement qu'ont subies les graines avant irradiation et, dans le Tableau XIV, la longueur des racines au moment de l'action des rayons. Toutes les doses sont exprimées en H sauf pour l'expérience 79 où elles le sont en R.

Pour mieux expliciter ces Tableaux, je détaillerai l'expérience 75.

**Expérience 75.** — 1000 lentilles sont mises à germer entre deux feuilles de coton humide. 48 heures plus tard, on en choisit 300 possédant 10 mm. de longueur de racine ; elles sont divisées en 10 lots de 30 lentilles chacun ; deux servent de témoins les 8 autres reçoivent respectivement 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 H. Après irradiation, les lentilles sont cultivées sur eau comme il est indiqué dans le chapitre des techniques ; 14 jours après l'irradiation, on mesure la longueur des racines des divers objets de chaque lot et établit les moyennes. Les résultats ont été les suivants :

*Moyenne de longueur des racines* (en mm.) :

Lots témoins 1 et 2 : 123, 2 et 121, 8 soit 122,5 mm.

Lots irradiés : 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15 H. : 99,8, 76,9, 61,9, 31,1, 21,2, 19,8, 17,3, 16,0 mm.

# TABLEAU XII

| Expériences | Plantes (graines sèches) | Nombre d'objets | Doses (en H) | Jour de mesure | % de croissance (en mm.) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Racines | Radicelles | Tiges | Racines et hypocotyles |
| 53 | Haricots | 60 | 30 | 4 | — | 40.5 | — | 90.3 |
| | | | — | 11 | — | 73.6 | — | 84.2 |
| 54 | Haricots | 60 | 40 | 4 | 96.1 | — | — | — |
| | | — | — | 12 | 71.4 | — | — | — |
| 55 | Haricots | 40 | 50 | 9 | 84.0 | — | — | — |
| 56 | Haricots | 60 | 60 | 4 | 100.4 | 71.8 | — | — |
| 57 | Haricots | 60 | 60 | 4 | 101.7 | 89.3 | — | — |
| | | — | — | 7 | 62.7 | 85.4 | — | — |
| | | — | — | 10 | 64.3 | 64.7 | — | — |
| 58 | Haricots | 40 | 100 | 3 | 56.4 | 0 | — | — |
| | | — | — | 4 | 51.9 | 21.3 | — | — |
| | | — | — | 5 | 51.0 | 23.2 | — | — |
| | | — | — | 8 | 49.7 | 36.6 | — | 56.7 |
| 59 | Haricots | 100 | 190 | 4 | 85.7 | 0 | — | — |
| | | — | — | 9 | 25.0 | 0 | — | — |
| 60 | Haricots | 64 | 200 | 9 | — | 0 | — | 22.8 |
| 61 | Haricots | 40 | 200 | 9 | — | 0.14 | — | 22.5 |
| 62 | Haricots | 50 | 500 | 4 | — | 0 | — | 62.1 |
| | | — | — | 5 | — | 0 | — | 55.6 |
| | | — | — | 6 | — | 0 | — | 42.4 |
| | | — | — | 9 | — | 0 | — | 20.4 |
| 63 | Haricots | 85 | 1000 | 3 | — | 0 | — | 52.5 |
| | | — | — | 5 | — | 0 | — | 25.9 |
| 64 | Lentilles | 280 | 40 | 3 | 98.8 | — | — | — |
| | | — | 70 | — | 81.8 | — | — | — |
| | | — | 100 | — | 75.6 | — | — | — |
| | | — | 150 | — | 63.5 | — | — | — |
| | | — | 40 | 14 | 84.2 | 76.1 | 90.9 | — |
| | | — | 70 | — | 68.1 | 68.4 | 78.0 | — |
| | | — | 100 | — | 62.7 | 34.0 | 67.2 | — |
| | | — | 150 | — | 35.8 | 16.3 | 43.8 | — |
| 65 | Lentilles | 300 | 65 | 17 | 66.8 | — | 81.1 | — |
| | | — | 95 | — | 59.5 | — | 73.1 | — |
| | | — | 125 | — | 56.6 | — | 65.9 | — |
| | | — | 175 | — | 49.5 | — | 61.6 | — |
| | | — | 200 | — | 46.2 | — | 58.0 | — |
| | | — | 225 | — | 41.7 | — | 52.9 | — |
| | | — | 250 | — | 35.9 | — | 36.2 | — |
| | | — | 270 | — | 33.7 | — | 41.9 | — |
| | | — | 300 | — | 30.6 | — | 35.1 | — |

# TABLEAU XIII

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | Durée du gonflement (en heures) | Organes mesurés | Doses (en H) | Mesure I | | Mesure II | | Mesure III | | Mesure IV | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Jour | % de croissance | Jour | % de croissance | Jour | % de croissance | Jour | % de croissance |
| 66 | Haricots | 120 | 6 | racines et | 25 | 4 | 97.4 | 11 | 99 | — | — | — | — |
| | | | 22 | hypocotyles | — | — | 91.3 | — | 53.9 | — | — | — | — |
| | | | 47 | — | — | — | 73.8 | — | 47.7 | — | — | — | — |
| | | | 6 | radicelles | 25 | 4 | 29 | 11 | 90 | — | — | — | — |
| | | | 22 | — | — | — | 6.3 | — | 59.9 | — | — | — | — |
| | | | 47 | — | — | — | 0 | — | 11.7 | — | — | — | — |
| 67 | Haricots | 60 | 16 | radicelles | 30 | 3 | 0 | 10 | 63.4 | — | — | — | — |
| 68 | Haricots | 100 | 6 | racines | 40 | 4 | 63.8 | 11 | 40.5 | — | — | — | — |
| | | | 23 | — | — | — | 59.7 | — | 19.2 | — | — | — | — |
| 69 | Haricots | 80 | 15 | racines | 60 | 4 | 36.6 | 7 | 24.1 | 10 | 16.9 | — | — |
| | | | 15 | radicelles | — | — | 0 | — | 0 | — | — | — | — |
| 70 | Lentilles | 60 | 24 | racines | 12 | 14 | 79 | — | — | — | — | — | — |
| | | | 24 | tiges | — | — | 90.1 | — | — | — | — | — | — |
| 71 | Lentilles | 120 | 24 | racines | 20 | 16 | 43.6 | — | — | — | — | — | — |
| | | | 24 | radicelles | — | — | 19.3 | — | — | — | — | — | — |
| 72 | Lentilles | 150 | 5 | racines | 40 | 4 | 68.4 | 6 | 49.2 | 8 | 41.9 | 13 | 45.7 |
| | | | 23 | — | — | — | 54.9 | — | 28.8 | — | 16.9 | — | 10.1 |
| | | | 5 | tiges | — | — | — | — | — | — | — | — | 83.0 |
| | | | 23 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 21.5 |
| | | | 5 | radicelles | — | — | — | — | — | 8 | 12.2 | — | 45.4 |
| | | | 23 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0.18 |

# TABLEAU XIV

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Doses (en H) | Jour de mesure | % de croissance (en mm.) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Racines | Tiges | Radicelles |
| 73 | Haricots | 80 | 2 | 25 | 10 | 36.1 | — | — |
| 74 | Haricots | 80 | 2 | 60 | 10 | 22.7 | — | 0 |
| 75 | Lentilles | 300 | 10 | 1 | 14 | 81.5 | 103.5 | 80.4 |
| | | | | 3 | | 62.7 | 88.6 | 35.5 |
| | | | | 5 | | 50.5 | 66.9 | 13.4 |
| | | | | 7 | | 25.4 | 43.0 | 1.6 |
| | | | | 9 | | 17.2 | 29.4 | 0.3 |
| | | | | 11 | | 16.2 | 26.1 | 0 |
| | | | | 13 | | 14.1 | 22.1 | 0 |
| | | | | 15 | | 13.1 | 18.1 | 0 |
| 76 | Lentilles | 420 | 10 | 1 | 12 | 96.7 | 92.1 | — |
| | | | | 3 | | 85.0 | 88.9 | — |
| | | | | 6 | | 83.8 | 88.5 | — |
| | | | | 10 | | 71.8 | 76.2 | — |
| | | | | 12 | | 68.6 | 72.5 | — |
| | | | | 15 | | 57.8 | 58.6 | — |
| | | | | 20 | | 34.0 | 38.5 | — |
| | | | | 30 | | 23.0 | 16.0 | — |
| 77 | Lentilles | 200 | 10 | 5 | 9 | 63.8 | 72.0 | 42.9 |
| | | | | 7 | | 39.7 | 49.4 | 17.8 |
| | | | | 9 | | 29.8 | 39.3 | 5.1 |
| | | | | 11 | | 21.7 | 32.7 | 1.3 |
| | | | | 13 | | 21.7 | 23.1 | 0 |
| | | | | 15 | | 20.2 | 22.9 | 0 |
| 78 | Lentilles | 200 | 10 | 1 | 9 | 98.9 | 82.9 | — |
| | | | | 3 | | 65.0 | 82.6 | — |
| | | | | 5 | | 45.6 | 72.5 | — |
| | | | | 7 | | 37.1 | 53.4 | — |
| | | | | 9 | | 28.9 | 47.6 | — |
| | | | | 11 | | 28.2 | 46.0 | — |
| | | | | 13 | | 27.9 | 42.5 | — |
| | | | | 15 | | 25.4 | 36.6 | — |
| 79 | Lentilles | 280 | 6 | 20 R | 14 | 99.0 | 106.7 | — |
| | | | | 50 R | | 92.4 | 95.2 | — |
| | | | | 100 R | | 84.9 | 99.2 | — |
| | | | | 150 R | | 78.4 | 92.1 | — |
| | | | | 225 R | | 77.2 | 82.6 | — |
| | | | | 300 R | | 56.0 | 56.6 | — |

Si l'on établit le *pourcentage de la croissance* des irradiés par rapport à celles des témoins, en ramenant la longueur moyenne des racines témoins à 100, on obtient pour les irradiés : 81,5, 62,7, 50,5, 25,4, 17,2, 16,2, 14,1, 13,1.

Des mesures et des calculs analogues ont été faits sur les tiges et les radicelles. Les résultats ont été les suivants :

*Moyenne de longueur des tiges* :

Lots témoins 1 et 2 : 88,4 et 86,0 soit 87,2 mm.

Lots irradiés : 90,3, 77,3, 58,3, 37,5, 25,6, 22,8, 19,3, 15,8 mm.

% *de croissance des tiges* :

Longueur des tiges témoins : 100 mm.

Longueur des tiges irradiées : 103,6, 88,6, 66,9, 42,9, 29,4, 26,1, 22,1, 18,1 mm.

*Moyenne de longueur des radicelles* :

Lots témoins 1 et 2 : 340,3 et 414,2 soit 377,2 mm.

Lots irradiés : 303,3, 134,1, 50,7, 6,2, 1,3, 0, 0, 0 mm.

% *de croissance des radicelles* :

Longueur des radicelles témoins : 100 mm.

Longueur des radicelles irradiées : 80,4, 35,5, 13,4, 1,6, 0,3, 0, 0, 0 mm.

Cette expérience et celles des Tableaux XII, XIII et XIV montrent nettement que la diminution de croissance est d'autant plus accusée que la dose reçue a été plus grande. Ainsi dans l'expérience 64 (Tableau XII), effectuée sur des lentilles, l'augmentation de la lésion avec la dose est très visible. L'expérience 65 est encore plus démonstrative, car elle porte sur 9 lots irradiés différemment, chez lesquels la vitesse d'accroissement diminue régulièrement au fur et à mesure que la dose s'élève. Le même fait se remarque chez les graines soumises gonflées ou germées à l'action des rayons. Toutefois, il est utile de ne comparer l'effet des diverses doses sur la croissance des plantes qu'à l'intérieur d'une même expérience, car d'un essai à l'autre j'ai varié avec intention les conditions de culture ou d'irradiation. Ainsi, les lentilles des expériences 77 et 78 ont crû à des températures différentes, ce qui modifie la manifestation de la lésion créée par les rayons X. D'autre part, les plantes de l'expérience 76 apparaissent moins lésées que celles de l'expérience 75 après l'action de doses semblables. Ceci est dû à ce que tous les lots de l'expérience 76 ont été irradiés recouverts d'un couvercle en verre épais, alors que ceux de l'expérience 75 ne l'était que par une lame de verre très mince. Ces différences importent peu pour

la recherche en cours. Il est, en effet, très aisé de constater, à l'intérieur d'une même expérience, que la croissance est d'autant plus faible que la dose est plus forte.

### γ) Interprétation des résultats.

L'obtention de ces résultats m'a incitée à les traduire en courbe, afin de chercher si la lésion produite par les rayons X était proportionnelle à la dose reçue. J'ai donc tracé la courbe de croissance des plantes en fonction de la quantité de rayons X qui leur fut appliquée en portant en abscisses les différentes doses et en ordonnées l'accroissement en % des germes après l'irradiation. La Figure II représente les résultats obtenus dans l'expérience 75 sur les racines, les tiges et les radicelles.

On voit, dans la Figure II, que les courbes représentant la croissance des racines, tiges et radicelles en fonction de la dose de rayons reçue sont vraisemblablement des exponentielles dont une extrémité pour les faibles doses, devient asymptotique à une droite. Il s'ensuit qu'en se limitant aux faibles irradiations, on peut admettre une proportionnalité entre la dose de rayons X donnée et la lésion manifestée par la plante.

En ce qui concerne plus particulièrement la croissance des lentilles fortement irradiées, les courbes mettent en évidence que les racines et les tiges montrent toujours un certain accroissement quelle que soit la dose de rayons reçue. Pour les radicelles, la courbe tombe à zéro, car elles n'apparaissent plus pour une dose voisine de 700 R.

J'ai recherché :

Si la plante manifestait toujours un certain développement après l'action de très fortes doses ;

Quelle était, dans ce cas, la plus faible quantité de rayons capable d'arrêter le plus rapidement la croissance des plantes ;

S'il existait un stade particulier auquel cessait l'accroissement.

Dans ce but, j'ai soumis des lentilles gonflées et germées à l'action de 1.000 à 10.000 R. La culture a eu lieu sur eau, et les mesures ont été fréquentes. Les résultats sont donnés dans le Tableau XV. J'y ai indiqué le nombre d'objets mis en expérience, les doses de rayons utilisées, l'état de la plante au moment de l'irradiation, le jour des mesures et la croissance moyenne des racines et des tiges.

On voit dans ce Tableau que les plantes ont toujours manifesté un certain accroissement après l'application de 1.000 à 10.000 R. Dans l'expérience 80, la croissance s'est effectuée très lentement pendant toute la durée de cet essai ; il semble bien toutefois qu'au

trentième jour après l'action des rayons, les lentilles irradiées avec 1.500 R aient cessé de s'accroître. Par contre, une dose de 2.100 R, tout en permettant un certain développement des plantes irradiées,

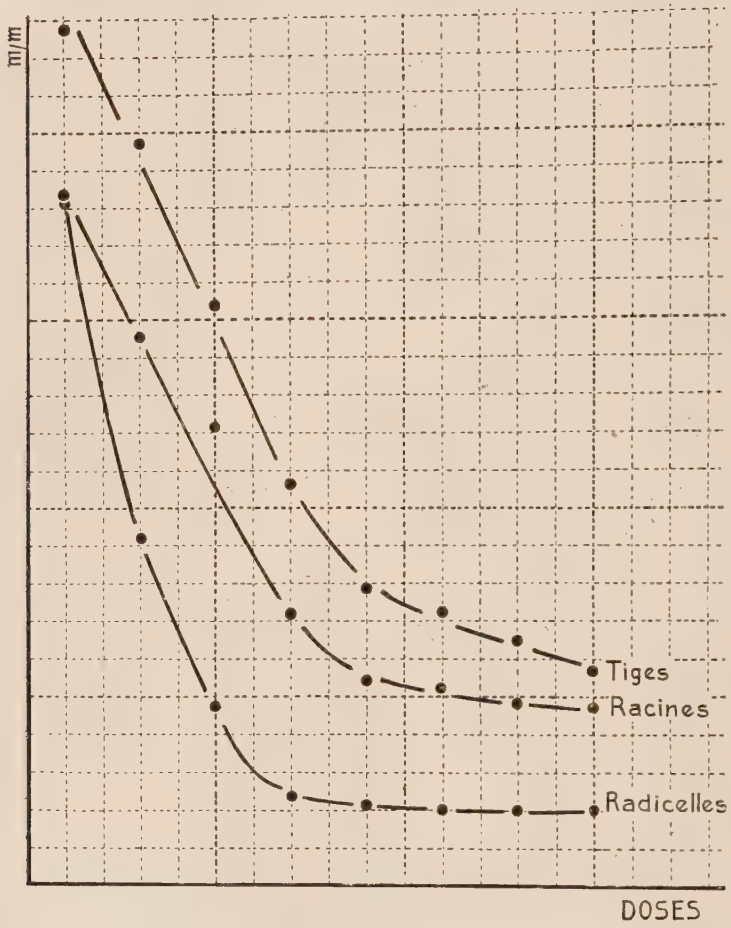



**Fig. II.** — *Courbes de croissance de lentilles irradiées.*
En ordonnées : Croissance (en mm.).
En abscisses : Doses.

a provoqué l'arrêt d'accroissement des racines deux jours après l'irradiation (expérience 81). Pour des doses plus élevées : 4.200 et 10.000 R, on obtient les mêmes résultats ; l'intensité de la lésion n'apparaît pas plus grande.

Au surplus, l'examen du Tableau XV met en évidence qu'après l'action de très fortes doses, la plante croît toujours sensiblement

# TABLEAU XV

| Expériences | Nombre d'objets | Etat des Plantes au moment de l'irradiation | Doses (en R) | Jour de mesure | Moyennes de croissance (en mm.) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Racines | Tiges |
| 80 | 40 | 10 mm. | 1.000 | 1 | 15.1 | — |
| | | | 1.500 | | 13.1 | — |
| | | | 1.000 | 3 | 19.2 | 10.9 |
| | | | 1.500 | | 17.1 | 8.5 |
| | | | 1.000 | 5 | 19.2 | 15.8 |
| | | | 1.500 | | 17.5 | 12.1 |
| | | | 1.000 | 10 | 23.2 | 19.0 |
| | | | 1.500 | | 17.6 | 15.2 |
| | | | 1.000 | 20 | 26.3 | 22.2 |
| | | | 1.500 | | 22.6 | 18.0 |
| | | | 1.000 | 30 | 29.2 | 26.8 |
| | | | 1.500 | | 22.5 | 19.3 |
| 81 | 40 | 10 mm. | 2.100 | 1 | 14.4 | — |
| | | | 4.200 | | 13.6 | — |
| | | | 2.100 | 2 | 15.2 | — |
| | | | 4.200 | | 14.5 | — |
| | | | 2.100 | 3 | 15.7 | — |
| | | | 4.200 | | 14.7 | — |
| | | | 2.100 | 5 | 15.3 | — |
| | | | 4.200 | | 14.5 | — |
| | | | 2.100 | 12 | 15.5 | 13.6 |
| | | | 4.200 | | 14.4 | 14.0 |
| | | | 2.100 | 18 | 15.8 | 14.7 |
| | | | 4.200 | | 14.6 | 15.2 |
| | | | 2.100 | 25 | 15.3 | 15.2 |
| | | | 4.200 | | 14.7 | 15.7 |
| 82 | 60 | 10 mm. | 10.000 | 2 | 14.3 | 5.8 |
| | | 2 mm. gonflé 28 h. | | | 11.0 | 2.1 |
| | | | | | 10.7 | 2.3 |
| | | 10 mm. | | 4 | 14.6 | 9.5 |
| | | gonflé 28 h. | | | 12.2 | 7.6 |
| | | 2 mm. | | | 12.1 | 6.4 |
| | | 10 mm. | | 6 | 14.7 | 11.8 |
| | | gonflé 28 h. | | | 13.6 | 10.1 |
| | | 2 mm. | | | 14.0 | 10.6 |
| | | 10 mm. | | 11 | 14.6 | 13.4 |
| | | gonflé 28 h. | | | 13.3 | 12.7 |
| | | 2 mm. | | | 13.3 | 12.7 |
| | | 10 mm. | | 15 | 14.8 | 14.2 |
| | | gonflé 28 h. | | | 12.4 | 11.8 |
| | | 2 mm. | | | 12.5 | 12.2 |

jusqu'à un même stade, quel que soit l'état de la graine au moment de l'irradiation (expérience 82). La taille des racines et des tiges oscille, en effet, autour de 14 mm. de longueur. La dose de rayons la plus faible pour laquelle on obtient ce résultat est voisine de 2.000 R.

**Conclusion :** Les expériences que j'ai réalisées sur l'étude de la réaction de la plante à l'irradiation ont montré que la croissance des plantes, en fonction de la dose reçue, se traduit par une courbe qui est vraisemblablement une exponentielle dont une extrémité pour les doses faibles devient asymptotique à une droite. Il en résulte que, pour ces dernières, il y a approximativement proportionnalité de la lésion avec la dose.

D'autre part, même après l'application d'une dose dix fois supérieure à celle qui arrête la croissance de la plante 48 heures après l'irradiation, les lentilles ont toujours manifesté un certain accroissement ; la taille des racines et des tiges oscille, dans ce cas, autour de 14 mm. de longueur.

### 2. — Étude de la réaction des diverses parties de la plante a l'irradiation. Recherche du test de radiosensibilité maxima.

Ainsi que je l'ai indiqué précédemment, divers auteurs, notamment Koernicke (111), Jungling (103), Iven (96) ont montré que le retard ou l'arrêt de croissance consécutif à une irradiation se faisait sentir sur toute la plante et notamment sur la tige, la racine et les radicelles. Toutefois, ils n'ont effectué aucune mensuration de radicelles.

Les expériences que j'ai relatées dans les Tableaux XII-XIII et XIV mettent en évidence qu'après l'action des rayons X, la croissance de la tige, de la racine et des radicelles se trouve amoindrie. J'ai recherché si cette diminution d'accroissement était la même pour les différents organes, ou si l'action des rayons X se faisait plus particulièrement sentir sur l'un d'entre eux. Les courbes de la Figure II montrent déjà qu'après une irradiation, la croissance des tiges est supérieure à celle des racines qui est elle-même plus grande que celle des radicelles. Il apparaît donc que c'est sur l'accroissement de la tige que l'effet des rayons est le moins manifeste, et sur celui des radicelles qu'il est le plus intense. J'ai réalisé un certain nombre d'expériences, afin de voir s'il en était toujours ainsi. J'ai, dans ce but, expérimenté sur le haricot et la lentille et ai recherché quelle était la réaction des divers organes de ces plantes à l'irradiation. Les graines ont été soumises sèches, gonflées ou germées à des doses

variées de rayons, puis cultivées sur eau comme de coutume. Après un laps de temps déterminé, la croissance des diverses parties de la plante a été mesurée. Les moyennes de longueur ont été évaluées en % par rapport à l'accroissement des témoins. Les résultats obtenus sont résumés dans les Tableaux XVI et XVII. Le Tableau XVI relate les expériences effectuées sur Lens esculata ; j'y ai indiqué le nombre d'objets, l'état de la graine au moment de l'irradiation, la dose des rayons appliquée sur les germes, le jour de la mesure et le % de croissance, par rapport aux témoins, des tiges, racines et radicelles. Le Tableau XVII mentionne les résultats obtenus sur Phaseolus. Les données qu'il renferme sont semblables à celles du Tableau XVI, à l'exception toutefois des % de croissance qui ont été établis sur l'hypocotyle, la racine et les radicelles ; dans certains cas, des mesures ont été effectuées globalement sur la longueur totale de l'hypocotyle et de la racine, dans d'autres sur la racine et les radicelles.

L'examen de ces Tableaux met en évidence qu'après l'action des rayons, les haricots manifestent une diminution de croissance qui est minima pour l'hypocotyle, plus élevée pour la racine et maxima pour les radicelles. On voit, en effet, dans l'expérience 105, par exemple, que le développement de graines irradiées avec 40 H, après gonflement de 6 heures entre deux feuilles de coton humide, est de 76 pour l'hypocotyle et de 63,8 pour les racines, et seulement de 15,8 pour les radicelles.

Dans les expériences réalisées sur *Lens esculata*, l'accroissement, maximum sur les tiges, s'est montré plus faible sur les racines et minimum sur les radicelles. C'est ainsi que des lentilles germées (expérience 93), irradiées avec 5 H, ont, après neuf jours, manifesté une croissance de 72 pour la tige, 63,8 pour la racine et 42,9 pour les radicelles. Pour de plus fortes irradiations 13 ou 15 H par exemple, les radicelles ne sont plus apparues.

Il résulte de ces faits que la détermination de la longueur des radicelles constitue un des test les plus sensibles de l'action des rayons X sur les plantes. A son défaut, les mesures de croissance, effectuées sur les racines, donnent des résultats plus nets et plus précis que les déterminations faites sur l'accroissement des tiges.

### 3. — Action de différentes doses de rayons X sur la régénération de plantes préalablement lésées par un agent autre que les rayons X.

Les expériences que j'ai entreprises à ce sujet ont eu pour but de rechercher si la vitesse de régénération des plantes variait avec

# TABLEAU XVI

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jour de mesure | % de croissance (en mm) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Tiges | Racines | Radicelles |
| 83 | 240 | sec | 40 | 14 | 90.9 | 84.2 | 76.1 |
| | | | 70 | | 78.0 | 68.1 | 68.4 |
| | | | 100 | | 67.2 | 62.7 | 34.0 |
| | | | 150 | | 43.8 | 35.8 | 16.3 |
| 84 | 150 | sec | 40 | 14 | 96.4 | 81.7 | 74.6 |
| 85 | 300 | sec | 65 | 17 | 81.1 | 66.8 | — |
| | | | 95 | | 73.1 | 59.5 | — |
| | | | 125 | | 65.9 | 56.6 | — |
| | | | 175 | | 61.6 | 49.5 | — |
| | | | 200 | | 58.0 | 46.2 | — |
| | | | 225 | | 52.9 | 41.7 | — |
| | | | 250 | | 36.2 | 35.9 | — |
| | | | 275 | | 41.9 | 33.7 | — |
| | | | 300 | | 35.1 | 30.6 | — |
| 86 | 200 | gonflé 5 h. | 40 | 8 | — | 41.9 | 12.2 |
| | | gonflé 23 h. | | | — | 16.9 | 0 |
| | | gonflé 5 h. | | 13 | 23.0 | 45.7 | 45.4 |
| | | gonflé 23 h. | | | 21.5 | 10.1 | 0.2 |
| 87 | 480 | germé 10 mm. | 3 | 12 | — | 85.0 | 73.6 |
| | | | 4 | | — | 82.3 | 62.2 |
| | | | 6 | | — | 85.8 | 54.1 |
| | | | 7 | | — | 84.1 | 48.5 |
| | | | 8 | | — | 71.4 | 34.7 |
| | | | 9 | | — | 71.8 | 27.9 |
| | | | 10 | | — | 68.6 | 28.4 |
| | | | 12 | | — | 57.8 | 13.8 |
| | | | 20 | | — | 34.0 | 1.9 |
| | | | 30 | | — | 23.0 | 0.02 |
| 88 | 20 | germé 30 mm. | 13 | 14 | 36.3 | 31.9 | 0 |
| 89 | 120 | germé 5 mm. | 15 | 11 | 15.3 | 8.8 | 0 |
| 90 | 60 | germé 10 mm. | 40 | 11 | 18.4 | 4.4 | 0 |
| 91 | 40 | germé 20 mm. | 15 | 8 | 28.5 | 15.0 | — |
| 92 | 300 | germé 10 mm. | 1 | 14 | 103.6 | 81.5 | 80.4 |
| | | | 3 | | 88.6 | 62.7 | 35.5 |
| | | | 5 | | 66.9 | 50.5 | 13.4 |
| | | | 7 | | 42.9 | 25.4 | 1.6 |
| | | | 9 | | 29.4 | 17.2 | 0.3 |
| | | | 11 | | 26.1 | 16.2 | 0 |
| | | | 13 | | 22.1 | 14.1 | 0 |
| | | | 15 | | 18.1 | 13.1 | 0 |
| 93 | 200 | germé 10 mm. | 5 | 9 | 72.0 | 63.8 | 42.9 |
| | | | 7 | | 49.4 | 39.7 | 17.8 |
| | | | 9 | | 39.3 | 29.8 | 5.1 |
| | | | 11 | | 32.7 | 21.7 | 1.3 |
| | | | 13 | | 23.1 | 21.7 | 0 |
| | | | 15 | | 22.9 | 20.2 | 0 |

## TABLEAU XVII

| Expériences | État des graines au moment de l'irradiation | Nombre d'objets | Doses (en H) | Jour de mesure | % de croissance (en mm.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Hypocotyles | Racines | Radicelles | Hypocotyles et racines | Racines et radicelles |
| 94 | sec | 40 | 50 | 9 | 82.3 | — | — | — | 77.2 |
| 95 | sec | 80 | 40 | 5 | 84.0 | 96.1 | 25.0 | — | — |
| 96 | sec | 40 | 50 | 9 | 79.0 | — | — | — | 62.0 |
| 97 | sec | 40 | 60 | 4 | — | 100.4 | 71.8 | — | — |
| 98 | sec | 80 | 100 | 5 | — | 51.0 | 23.2 | — | — |
| 99 | sec | 140 | 100 | 7 | — | 55.4 | 33.3 | — | — |
| 100 | sec | 70 | 190 | 9 | — | — | 0 | 40.0 | — |
| 101 | sec | 30 | 200 | 9 | 38.4 | 13.6 | 0 | — | — |
| 102 | sec | 60 | 200 | 9 | 66.6 | 22.5 | 0.1 | — | — |
| 103 | sec | 60 | 120 | 5 | 99.1 | 64.4 | 39.5 | — | — |
| | sec | — | 150 | — | 84.6 | 55.7 | 20.9 | — | — |
| 104 | gonflé 6 h. | 80 | 25 | 4 | — | — | 29.0 | 97.4 | — |
| | gonflé 22 h. | — | — | — | — | — | 6.3 | 91.3 | — |
| | gonflé 47 h. | — | — | — | — | — | 0 | 73.8 | — |
| 105 | gonflé 6 h. | 100 | 40 | 5 | 76.0 | 63.8 | 15.8 | — | — |
| | gonflé 23 h. | — | — | — | 84.0 | 59.7 | 5.5 | — | — |
| | gonflé 6 h. | — | — | 12 | 60.0 | 40.6 | 38.3 | — | — |
| | gonflé 23 h. | — | — | — | 30.0 | 19.2 | 3.9 | — | — |
| 106 | gonflé 15 h. | 40 | 60 | 10 | — | 16.9 | 0.7 | — | — |
| 107 | germé 2 mm. | 80 | 25 | 10 | 64.2 | 34.6 | 11.1 | — | — |
| 108 | germé 2 mm. | 80 | 60 | 10 | 46.1 | 22.7 | 0 | — | — |
| 109 | germé 2 mm. | 40 | 60 | 5 | 85.9 | 42.5 | 0 | — | — |

la dose de rayons, et si l'emploi de ce procédé donnait, dans une étude de l'action biologique des rayons X, des résultats plus précis que ceux fournis par des mensurations de croissance normale.

Les expériences que j'ai réalisées ont été conduites de la façon suivante : des haricots blancs soissons mis à gonfler dans l'eau pendant 24 heures sont ensuite placés entre deux feuilles de coton humide. 48 heures plus tard, les racines qui sont apparues sont coupées à 5 mm. des cotylédons ; la moitié des exemplaires est ensuite irradiée ; l'autre sert de témoin. Les jours suivants, on compte les haricots ayant donné des radicelles et établit le pourcentage sur le nombre de graines mises en expérience. La longueur des radicelles est également déterminée ainsi que leur % de croissance par rapport aux témoins. Dans d'autres essais, les plantes ont été mutilées deux fois ; la première section a été faite sur la racine immédiatement avant irradiation ; la deuxième a été pratiquée 48 heures après l'irradiation ; elle a porté sur les radicelles nouvellement formées. Les mesures de

longueur ont été effectuées sur les nouvelles radicelles qui se sont développées après la deuxième mutilation.

Des expériences analogues ont été également réalisées sur des flageolets verts.

Les résultats obtenus figurent dans le Tableau XVIII. J'y ai mentionné la nature de la plante, le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, le nombre de sections, la dose de rayons appliquée, le jour de la mesure, le pourcentage des germes ayant donné des radicelles et la croissance des radicelles, en % par rapport à celle des témoins.

## TABLEAU XVIII

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | Nombre de sections | Doses (en H) | Jour de mesure | % d'objets ayant des radicelles | % de croissance des radicelles |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 110 | Haricots blancs | 20 | 1 | 1 | 1 | 70 | 25.7 |
| | | | | témoins | 1 | 90 | — |
| | | | | 1 | 2 | 100 | 35.0 |
| | | | | témoins | 2 | 100 | — |
| 111 | Haricots blancs | 20 | 1 | 5 | 1 | 40 | 42.0 |
| | | | | témoins | 1 | 90 | — |
| | | | | 5 | 2 | 90 | 47.4 |
| | | | | témoins | 2 | 100 | — |
| 112 | Haricots blancs | 20 | 2 | 1 | 1 | 30 | 76.9 |
| | | | | témoins | 1 | 60 | — |
| | | | | 1 | 2 | 60 | 56.8 |
| | | | | témoins | 2 | 100 | — |
| | | | | 1 | 3 | 80 | 47.5 |
| | | | | témoins | 3 | 100 | — |
| 113 | Haricots blancs | 20 | 2 | 5 | 1 | 20 | 38.4 |
| | | | | témoins | 1 | 60 | — |
| | | | | 5 | 2 | 70 | 38.7 |
| | | | | témoins | 2 | 100 | — |
| | | | | 5 | 3 | 80 | 40.1 |
| | | | | témoins | 3 | 100 | — |
| 114 | Haricots blancs | 26 | 1 | 30 | 2 | 0 | — |
| | | | | témoins | 2 | 100 | — |
| | | | | 30 | 4 | 33 | — |
| | | | | témoins | 4 | 100 | — |
| | | | | 30 | 7 | 70 | — |
| | | | | témoins | 7 | 100 | — |
| 115 | Haricots verts | 20 | 1 | 60 | 4 | 22 | — |
| | | | | témoins | 4 | 66 | — |

Les expériences contenues dans ce Tableau mettent en évidence que la régénération est d'autant moins rapide que la dose est plus forte. Les résultats obtenus sont donc comparables à ceux qui se manifestent pour la croissance normale d'une plante. Toutefois, ce procédé d'étude de l'action des rayons n'apportant pas plus de précision que des mensurations de croissance normale, il est plus simple de s'en tenir à ces dernières.

### b) Action de doses différentes de rayons X sur diverses espèces de plantes.

Sachant que l'action des rayons X se manifeste sur les plantes par un retard ou un arrêt de croissance, la question se pose de rechercher si les diverses plantes réagissent avec la même intensité à l'application d'une même dose, si par exemple, la dose mortelle pour une graine l'est également pour une autre.

Koernicke, en 1904 (106), remarque le premier qu'après une irradiation, on observe, chez les diverses plantes, des réactions analogues, mais que les doses lésantes varient. Il dit en effet : « Brassica « napus est très résistant à l'action des rayons X ; les semences ne « semblent guère arrêtées dans leur croissance après l'action d'une « quantité de rayons qui produit une très grande réaction de Vicia « faba ».

Dans la suite, Guilleminot (74) constate également que les doses d'irradiation nocives varient suivant les graines.

De même, dans les travaux de tous les auteurs qui suivirent et notamment de Petry (164, 165), Jungling (103), Iven (96) et Bolaffio (37), de semblables faits sont signalés.

Iven conclut même que plus les graines irradiées sont petites, moins est grande la sensibilité et, par conséquent, plus est élevée la dose mortelle.

Au cours des études que j'ai faites, comme on peut le constater dans les divers Tableaux d'expériences que j'ai établis, j'ai remarqué également que les doses lésantes variaient notablement suivant les plantes. Ainsi, pour obtenir la mort rapide d'une lentille germée, il faut environ 9 H ; pour tuer rapidement un haricot germé, il faut environ 60 H. Une dose de 200 H conduit à une mort précoce un haricot sec, et une dose de 300 H ne permet qu'une faible croissance des lentilles irradiées sèches. Ces faits établissent donc qu'une même dose de rayons X ne produit pas le même radio-effet chez des plantes différentes.

*

## B. — Étude microscopique.

### 1. — Historique.

Koernicke (108, 109), étudiant l'action des rayons X et du radium sur Vicia faba et Pisum sativum, a constaté tout d'abord qu'un certain temps après l'arrêt d'accroissement des racines, on observait des cellules à deux ou plusieurs noyaux. Après une irradiation de 24 heures par du radium sur de jeunes racines de Vicia faba et de Pisum sativum, l'examen microscopique lui montra « qu'il « n'était pas possible de constater une influence défavorable sur la « division cellulaire et nucléaire. Après deux jours d'irradiation, « le nombre des mitoses diminuait, mais elles semblaient parfaitement « normales. Après trois jours d'irradiation, on ne remarquait plus « que quelques divisions nucléaires ne présentant rien d'anormal ». Lorsqu'un temps suffisant s'est écoulé pour que l'arrêt de croissance des racines soit réalisé, on voit alors apparaître des figures particulières qui font croire à une influence spéciale de l'irradiation sur la chromatine ; on trouve des fuseaux, dans lesquels les chromosomes ne se superposent que difficilement les uns aux autres, de sorte que leur attraction vers les pôles du fuseau est retardée. La partie cytoplasmique des fuseaux est tout à fait normale. La formation des cellules à deux noyaux peut faire croire à l'absence de division du cytoplasme, mais l'auteur pense plutôt que les deux noyaux dans une seule cellule proviennent d'une division amitotique. Koernicke signale, en outre, qu'à la suite d'irradiations de jeunes bourgeons de fleurs, il a vu « la charpente nucléaire contractée « comme dans un état normal de synapsis et dans d'autres objets fixés « 24 heures après l'irradiation, des filaments nucléaires contractés « sous forme de bandes dont les contours irréguliers étaient dus à « la présence de filaments nucléaires incomplètement rétractés ». L'auteur a aussi observé que, 20 heures après une irradiation de cinq heures faite avec du radium, les filaments des cellules mères du pollen de Lilium martagon étaient scindés en segments doubles beaucoup plus petits et plus nombreux que les chromosomes décrits par de nombreux auteurs dans les conditions normales. Koernicke signale aussi, à la suite de ses expériences, la formation de mitoses pluripolaires et aussi de figures dites « en sablier », dues à ce que les deux noyaux fils en reconstitution sont unis l'un à l'autre par des filaments nucléaires plus ou moins nombreux et plus ou moins longs.

Les observations de Koernicke peuvent donc se résumer de la façon suivante : les rayons X et le radium, employés à doses faibles,

ne troublent pas la division cellulaire ; à doses plus fortes, ils diminuent le nombre des cellules en caryocinèse et font apparaître des mitoses anormales, caractérisées surtout par la fragmentation des chromosomes, la condensation chromatique et quelques mitoses pluripolaires. L'auteur n'a observé aucune lésion du cytoplasme.

Casemir (41) a irradié des graines de Vicia faba après 12 heures de gonflement dans l'eau et 24 à 36 heures de germination. L'irradiation durait 2 heures 1/2, la dose étant de 200 H environ. Tandis que les témoins montrent dans la deuxième couche cellulaire cinq à huit mitoses nettes par champ à 800 diamètres, il n'existe chez les irradiés, fixés aussitôt après l'irradiation, aucune cellule en division directe ou indirecte. De même, les objets examinés six heures après l'action des rayons ne montrent aucune mitose. Après une irradiation de 3 heures, on ne décèle, comme précédemment, aucune cinèse. Après six heures d'exposition aux rayons, il n'apparaît aucune figure de division, mais on trouve des éléments en caryolyse. Les mêmes faits se remarquent sur des graines examinées 12, 16 ou 24 heures après l'irradiation. Casemir a cherché à savoir si la caryocinèse pouvait reprendre chez les graines irradiées. Après une irradiation de 4 h. 1/2, il a fixé les germes immédiatement après l'irradiation et 3, 6, 18, 24, 48 et 72 heures plus tard. Dans tous ces cas, aucune mitose n'est apparue chez les graines irradiées. Ce qui est frappant, dit l'auteur, c'est qu'après 2 ou 3 jours, les germes irradiés s'étaient accrus et d'une manière non négligeable quoique beaucoup moins que les témoins. Cet accroissement en longueur doit être attribué, au moins en partie, à la transformation des cellules mères de la couche germinative en de longues cavités vides. La caryocinèse est rapidement arrêtée par l'irradiation, mais la différenciation ultérieure des cellules ne semble que peu influencée. L'auteur tire de ses expériences les conclusions suivantes :

1° Les rayons X influencent les cellules des germes de fèves directement ; ils arrêtent complètement les divisions cellulaires et nucléaires, ils font apparaître des phénomènes de dégénérescence marquée dans les cellules mais surtout dans les noyaux.

2° L'effet dégénératif sur les cellules est apparu sans période de latence, puisqu'on ne retrouve plus de division immédiatement après l'irradiation.

3° Le noyau avec sa charpente chromatique représente le point principal d'attaque des rayons X, car la caryocinèse cesse ; il se manifeste, en outre, une destruction et une disparition du noyau.

Komuro (119) a appliqué à des graines de Vicia faba, gonflées pendant 67 heures, une irradiation d'une heure ; il a constaté, dans la pointe de la racine, 1 à 5 heures après l'irradiation, une vacuolisation du cytoplasme et une évidente chromatolyse ; toutes les mitoses observées à ce moment étaient anormales. 9 heures après l'irradiation, l'auteur signale la présence de cellules binucléées, d'éléments à noyaux géants et d'autres multinucléés. Il insiste particulièrement sur la ressemblance des figures obtenues avec celles des cellules cancéreuses.

Les recherches cytologiques de Rochlin et Gleichgewicht (185) ont été faites sur la racine principale de Phaseolus vulgaris. Sous l'influence de 20 HED, presque toutes les cellules ont été fortement lésées et, du second au cinquième jour après l'irradiation, elles étaient remplies d'une masse granuleuse épaisse, le noyau n'était pas visible, les nucléoles manquaient complètement ou apparaissaient comme des masses irrégulières colorables par la safranine. Sous l'influence de 12 HED, 24 heures après l'irradiation, l'arrêt de la croissance s'accompagnait de processus de dégénérescence du noyau (picnose, dégénérescence en forme de couronne de la substance chromatique, karyorexis, gonflement du noyau, sortie du nucléole, caryolyse). On constata un état granuleux du plasma avec vacuolisation. Les mitoses avaient complètement disparu. 96 heures après l'irradiation, on voyait des figures de division dégénératives pathologiques (asters irréguliers, diasters asymétriques avec formation de mottes chromatiques, écartement des chromosomes pendant la métacinèse, gonflement du fuseau, pseudoamitoses, figures de division nucléaire en forme de sablier ou d'hémisphères). Certaines cellules présentaient des noyaux fragmentés, développés aux dépens des chromosomes séparés et restés sur place ou de fragments de chromosomes ; d'autres possédaient deux noyaux ; certains éléments formaient des cellules géantes.

Les auteurs rappellent que Nemec a obtenu les mêmes lésions cytologiques avec divers agents comme le chloroforme, l'éther, les hautes températures, les acides, les bases, le courant faradique ou galvanique, différents poisons, etc. Avec une dose de 5 HED, un examen effectué 6 heures après l'irradiation montre une disparition complète des mitoses et les modifications cellulaires signalées après l'irradiation faite avec une dose de 12 HED. L'effet de 2 1/2 HED n'a été examiné que 24 et 96 heures après l'irradiation : des dégénérescences n'ont été obtenues que très rarement ; le fait essentiel consistait en une diminution importante du nombre des figures

de division. Après 24 heures, la diminution était environ de 10 % et après 96 heures de 30 %. L'effet de 1/3 HED a été étudié 6, 24, 48 et 96 heures après l'irradiation. Après 6 heures, le nombre de mitoses était de 10 % plus élevé chez les irradiés que chez les témoins. Après 24 heures, il était de 50 % plus grand ; après 48 heures, de 30 %, et 96 heures après l'action des rayons, le nombre de cellules en division était le même chez les témoins et les irradiés. Les radicelles apparurent plus tôt chez les irradiés que chez les témoins, ce qui, d'après les auteurs, montrerait bien la plus grande énergie de croissance conférée aux irradiés par l'application de la dose 1/3 HED.

A côté de ces travaux effectués sur les plantes, je rapporterai les observations des auteurs qui sont arrivés aux résultats les plus nets concernant l'action cytologique des rayons X sur des tissus animaux et sur des cancers.

Lacassagne et Monod (129) ont appliqué, sur le cancer de la mamelle d'une Chienne, une forte dose de rayons X pénétrants en une seule séance d'une durée de 5 heures ; puis ils ont fait des biopsies successives.

Les auteurs ont observé :

1° A la fin de l'irradiation, la disparition des divisions cellulaires en train de s'effectuer et une suspension de toute nouvelle mitose.

2° Pendant les premières heures qui ont suivi l'action des rayons, ils ont noté un ralentissement des mitoses qui, 18 heures plus tard, sont aussi nombreuses que dans la biopsie initiale, mais parmi ces cinèses apparaissent des anomalies fréquentes ; la division cellulaire semble être toujours dégénérative, car les cellules en diérèse entrent en nécrobiose avant d'avoir pu former un diaster.

3° Dans les jours suivants (depuis la fin du second jour jusqu'à la fin du cinquième), ils remarquent une accentuation progressive des phénomènes suivants : désintégration des couches les plus superficielles de la tumeur ulcérée en concordance avec son affaissement rapide ; apparence d'activité reproductrice considérable, la plupart des cellules, semble-t-il, entrant successivement en division ; anomalies de plus en plus prononcées de ces mitoses qui deviennent désordonnées, multipolaires ou rudimentaires ; malgré cette grande activité cytodiérétique, réduction rapide du nombre des éléments néoplasiques, les mitoses anormales étant pour la plupart dégénératives, c'est-à-dire aboutissant à la mort de la cellule ; l'achèvement de quelques divisions cellulaires atypiques (directes ou indirectes) produit un certain nombre d'éléments monstrueux, voués à une nécrobiose prochaine.

4° Après 5 jours, Lacassagne et Monod observent la cessation des mitoses dans les quelques éléments monstrueux qui subsistent encore, et dont la plupart sont en voie de désintégration.

5° Après le 7e jour, ils notent la disparition de tous les éléments cancéreux.

Ces auteurs ont aussi étudié les modifications cellulaires, déterminées par le radium sur des cancers humains. Ils ont observé :

1° Dans les premières 24 heures, la disparition des mitoses et la cessation de toute activité reproductrice.

2° Une reprise progressive des processus de division cellulaire, qui deviennent de plus en plus nombreux à partir du second jour. Mais toutes les caryocinèses qui se produisent paraissent évoluer anormalement.

3° Les auteurs attirent l'attention sur ce fait que les mitoses réapparaissent, alors que l'irradiation se poursuit. Ces cinèses, disent-ils, ne sont pas signe de multiplication cellulaire, mais de déchéance, car ce sont des mitoses dégénératives.

Albert et Politzer (2) ont tiré de leur travail les conclusions suivantes :

1° Le nombre des mitoses de l'épithélium de cornées d'Urodèles irradiées 10 à 40 minutes décroît rapidement. En même temps, il se produit une influence sur les mitoses en cours (effet primaire).

2° Au bout de 10 heures au plus après l'irradiation, les phénomènes de division cellulaire ont complètement disparu. Ceci marque le début de l'intervalle libre de mitoses ; la durée de l'intervalle dépend de la quantité de rayons X employée et de l'âge de l'animal.

3° Après cet intervalle, les mitoses réapparaissent, mais elles sont anormales (effet secondaire). On n'a pas constaté si cette phase pouvait être suivie d'un retour à la normale.

4° L'effet primaire est caractérisé par la picnose de toutes les phases de la caryocinèse.

5° Dans la période de l'effet primaire, apparaissent encore des formes rappelant l'amitose.

6° Dans l'intervalle sans mitoses, on observe sur les noyaux cellulaires au repos, de la fragmentation, de la picnose et de la vacuolisation.

7° L'effet secondaire est caractérisé par des cinèses à chromosomes égarés, dispersés dans le corps cellulaire, chromosomes qui se rassemblent, dans la suite, en petits noyaux accessoires placés à côté

du noyau principal. Ainsi se réalise l'image de la cellule cancéreuse à plusieurs noyaux.

8° La déviation des asters apparaît fréquemment ; elle est due probablement à des liaisons entre différents groupes de chromosomes (pont de chromosomes).

9° L'effet primaire est surtout caractérisé par la picnose et l'effet secondaire par des troubles dans la migration polaire des chromosomes.

10° La concordance de ces formes anormales de division nucléaire avec l'effet produit par la chaleur et le froid, par des agents chimiques, par des courants galvaniques et faradiques, plaide en faveur de la loi, déjà formulée par J. Müller que, dans certaines limites, les excitations les plus diverses produisent les mêmes effets sur les éléments des noyaux et peut être aussi, d'une manière tout à fait générale, sur des éléments semblables de substance vivante.

Alberti et Politzer (3) ont complété leur travail l'année suivante et ont apporté de nouvelles données. Ce sont :

1° Après irradiation avec des rayons X, le nombre des mitoses au niveau de l'épithélium de la cornée de larves d'Urodèles diminue rapidement en même temps qu'apparaissent des cinèses anormales (effet primaire). Après un intervalle sans mitoses, les divisions cellulaires reprennent, et il se forme également des figures anormales de division cellulaire (effet secondaire).

2° L'effet primaire est caractérisé par l'apparition de picnoses et de pseudo-amitoses.

3° La durée de l'effet primaire dépend de la dose de rayons appliquée.

4° La proportion des pseudo-amitoses par rapport au nombre des mitoses anormales croît avec la dose.

5° La durée de l'intervalle sans mitoses augmente avec des doses croissantes. Il est de quelques heures pour 1/3 H, d'un jour pour 1 H, de 3 jours environ pour 4 H, de 5 jours pour 12 H et enfin de 8 jours pour 20 H.

6° L'effet primaire et l'intervalle sans mitoses sont dus à une lésion de la chromatine, qui amène, au courant de la mitose, une picnose ou une formation de pseudo-amitoses, et qui suspend passagèrement pour un noyau la propriété de division.

7° L'effet secondaire se fait sentir pour une irradiation faible (3 H) au moment de la migration des chromosomes aux pôles. Il détermine une déviation des chromosomes, et par là, une formation de noyaux accessoires.

8° L'effet secondaire se manifeste pour une irradiation moyenne (12 H) au moment du stade d'aster ; il se traduit par l'absence de plaque équatoriale. Comme la division longitudinale se produit néanmoins, il se forme des noyaux avec un nombre élevé anormal de chromosomes.

9° L'effet secondaire entraîne, pour une forte irradiation (20 H), une fragmentation irrégulière du spirème ; il se constitue ainsi des noyaux avec des filaments de chromatine de longueurs différentes et possédant des fragments de chromosomes.

Dans un nouveau travail, Alberti et Politzer (4) ont repris leurs expériences. Irradiant des cornées de larves de Salamandre maintenues, les unes dans de l'eau à 26°, les autres dans de l'eau à 10°, ils ont vu que, dans les deux cas, le nombre des cinèses diminue très rapidement après l'irradiation, mais que l'absence de mitose, se manifestant 7 heures après l'action des rayons chez les animaux maintenus à 26°, ne se réalise qu'après 18 heures chez les animaux maintenus à 10°. Les auteurs concluent de ces expériences effectuées sur des cornées de larves de Salamandre et de recherches faites sur des embryons de Souris que les modifications déterminées par les rayons X sur des tissus embryonnaires (effet primaire, intervalle sans mitose) suivent la loi de Van t'Hof, c'est-à-dire que, pour des élévations de température des tissus de 10°, les modifications engendrées par les rayons X se font deux à trois fois plus vite.

Strangeways et Oakley (211) ont étudié les transformations produites par les rayons X dans des cultures de tissus in vitro. Ces tissus provenaient de chroroïdes d'embryons de Poulet incubés pendant six à sept jours. Les auteurs entreprirent deux séries d'expériences. Dans la première, ils exposèrent les cultures pendant des temps variés aux rayons X et les fixèrent aussitôt après l'irradiation. Dans la seconde série, les cultures irradiées ne furent fixées qu'après avoir été soumises à l'incubation pendant 80 minutes après l'action des rayons. Dans la première série d'expériences, les cultures irradiées pendant 5, 10 et 15 minutes ne montrèrent aucune lésion. Dans les cultures irradiées pendant 20 minutes, les auteurs notèrent une diminution du nombre des cellules en prophase sans aucune anomalie visible. L'irradiation pendant 30 minutes ne laissait plus voir que quelques cellules en prophase et une diminution nette du nombre des cellules aux autres phases de la mitose, mais les auteurs n'observèrent pas d'anomalies des cellules en division. C'est seulement après 35 minutes d'irradiation, qu'apparaissent des chromosomes granuleux pendant la métaphase et l'anaphase. Après 50 minutes d'exposition

aux rayons, Strangeways et Oakley ne trouvent plus de cellules en prophase, alors que persistent encore une ou deux cellules aux autres phases de la mitose. Ces dernières montrent des formes granuleuses et une fragmentation des chromosomes avec retard de la division. Aucune cellule en caryocinèse n'est plus observée dans la majorité des cultures irradiées pendant 75 minutes. L'état est le même après 120 minutes d'irradiation, mais on remarque des spécimens présentant quelques cellules en division anormale. Lorsque les cultures ne sont pas irradiées pendant plus de 30 minutes, les cellules déjà en prophase passent par toutes les phases de la mitose, les chromosomes ne montrent aucune anomalie, et les cellules se divisent normalement. Les irradiations de 35 à 60 minutes produisent des lésions dans les cellules en caryocinèse, mais cependant elles achèvent leur division en deux cellules filles ; il est possible toutefois que cette phase soit retardée. Après les plus longues expositions, on trouve des cellules multinucléées. Les irradiations de moins de 60 minutes ne montrent aucune lésion des cellules au repos. Après de plus longues expositions aux rayons, apparaissent des modifications dans le noyau et le cytoplasme des cellules au repos.

La deuxième série d'expériences a mis en évidence, après 5 minutes d'irradiation, une diminution du nombre des cellules en mitose ; il y a cependant plusieurs cellules en prophase et aux autres phases de la division. On constate des modifications granuleuses des chromosomes à la métaphase. Les cultures irradiées pendant 10 minutes montrent encore moins de cellules en division et les mêmes lésions à la métaphase. Après 30, 35, 40 minutes d'irradiation, les cellules en mitose ont complètement disparu sauf dans certaines cultures où l'on trouve une ou deux cellules en cinèse anormale. Une exposition de 120 minutes aux rayons ne laisse pratiquement reconnaître aucune cellule en mitose ; lorsqu'il s'en trouve, elles sont anormales.

La comparaison des cellules fixées immédiatement après l'irradiation et des tissus remis en incubation pendant 80 minutes montre qu'il existe une période de latence de 15 à 20 minutes avant que les changements dans les cellules puissent être reconnus. Ces modifications ne diffèrent pas de celles que produisent beaucoup de conditions anormales.

### 2. — Recherches personnelles.

Pour étudier, à l'aide du microscope, les modifications créées par les rayons X dans les tissus des plantes en voie de développement, il était nécessaire de choisir un objet possédant des cellules faciles à étudier, aussi ai-je donné la préférence à Allium cepa. J'ai cultivé

les oignons sur eau à une température de 17° à 18°. Pour réaliser ces cultures j'ai utilisé des réglettes de bois semblables à celles qui me servaient pour les lentilles (chapitre des techniques) mais percées de trous plus gros. J'ai placé sur les ficelles des contrepoids de verre suffisants pour que les bulbes d'oignons ne soient pas mouillés, tandis que les racines plongent complètement dans l'eau. Lorsque les racines atteignent 20 à 40 mm. de longueur elles sont alors soumises à l'action des rayons. Dans ce but, on les dispose sur du coton humide, de telle façon que leurs pointes viennent toutes converger vers un point central, où se trouve placée la chambre ionométrique de l'appareil de Solomon, et sur lequel était dirigé l'axe des faisceaux de rayons X. J'avais observé que le séjour des racines témoins sur coton humide pendant un temps égal à la durée de l'irradiation n'avait pas d'action lésante. Cependant, j'ai toujours mis les témoins sur coton humide pendant ce temps.

Pour étudier l'effet des rayons, j'ai soumis les racines d'oignons à l'action de doses différentes, puis je les ai remises en culture et ai prélevé, à divers moments, des racines dont les pointes ont été fixées dans du liquide de Bouin. Les coupes faites parallèlement au grand axe de la racine ont été colorées à la laque ferrique hématoxyline-erythrosine. Les doses de rayons employées ont été de 1000 R, 450 R, 300 R, 200 R, 150 R, 100 R, 50 R, 30 R. Je signalerai, tout d'abord, les constatations faites à des moments déterminés après l'irradiation pour chaque dose utilisée, puis je résumerai mes résultats et les comparerai à ceux obtenus par les auteurs qui m'ont précédée.

*Action d'une dose de* 1000 *R.*

L'irradiation a duré 12 minutes :

1° ***Examen pratique aussitôt après l'irradiation.*** — Les préparations sont semblables à celles des témoins. La réaction cellulaire consécutive à l'action des rayons n'est pas encore visible.

2° *Examen pratiqué* 15 *minutes après la fin de l'irradiation.* — Le seul fait qui marque la différence avec le stade précédent est la diminution légère du nombre des mitoses dans la pointe de la racine. Dans les autres régions de cet organe, on retrouve une structure identique à celle des témoins ; on observe toutes les phases de la mitose ; elles paraissent normales.

3° *Examen pratiqué* 30 *minutes après la fin de l'irradiation.* — Le nombre de mitoses est diminué dans la pointe de la racine comme au stade précédent ; on le trouve également diminué dans les autres régions de la racine. On observe quelques mitoses anormales ; ce sont

des métaphases et des anaphases, dans lesquelles les chromosomes apparaissent gonflés. Dans certaines figures, ce gonflement a déterminé la formation d'un bloc chromatique où les chromosomes ne peuvent plus être individualisés et d'où ils émergent dans toutes les directions. Cette picnose peut être très difficilement décelée sur les télophases parce que, dans les conditions normales, à ce stade, les noyaux fils prennent l'aspect de blocs chromatiques très fortement colorables, et l'accentuation, qui pourrait être déterminée par un début de processus picnotique, ne pourrait en changer nettement l'aspect.

4° *Examen pratiqué une heure après la fin de l'irradiation.* — Tandis que jusqu'ici on pouvait rencontrer tous les stades de la mitose, on constate maintenant que les anaphases et les télophases font défaut. Les cinèses sont représentées par des prophases en nombre assez limité et qui paraissent normales ; toutes les autres cellules en division sont dans un état de picnose avancé, leur noyau formant un bloc chromatique plus ou moins compact, très fortement coloré et plus ou moins hérissé de pointes. Il n'est pas possible de dire à quel stade de la mitose ont commencé les phénomènes picnotiques. On voit cependant encore quelques plaques équatoriales facilement reconnaissables, et dans lesquelles les chromosomes gonflés peuvent être plus ou moins nettement individualisés.

5° *Examen pratiqué* 3 *h.* 1/2 *après le début de l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a considérablement diminué. On ne trouve guère que des prophases, dont l'aspect général rappelle bien celui des prophases normales. Tous les autres stades de la division nucléaire ont à peu près complètement disparu ainsi que les figures picnotiques indéchiffrables. Le nombre des prophases est sensiblement le même qu'aux stades précédents.

6° *Examen pratiqué* 7 *h.* 1/2 *après le début de l'irradiation.* — L'aspect est le même qu'à 3 h. 1/2, mais le nombre des prophases a nettement diminué.

7° *Examen pratiqué* 12 *heures après le début de l'irradiation.* — Toutes les cellules sont au repos, les picnotiques ont complètement disparu.

8° *Examens pratiqués* 1, 3, 4, 5, 6 *jours après l'irradiation.* — Les noyaux des cellules sont toujours au repos.

9° *Examen pratiqué* 7 *jours après l'irradiation.* — On voit réapparaître quelques mitoses. On remarque quelques prophases dont l'aspect est normal ; des éléments renferment des chromosomes de taille paraissant normale, mais dispersés sans ordre dans la cellule ;

on observe des anaphases, dans lesquelles les noyaux fils restent unis par un pont chromatique formé par un ou plusieurs chromosomes n'ayant pas subi l'ascension polaire.

10° *Examen pratiqué 12 jours après l'irradiation.* — On ne rencontre plus aucune mitose ; les éléments au repos sont en voie de disparition.

En résumé, la première réaction des cellules à l'action d'une dose de 1000 R se manifeste, 15 minutes après l'irradiation, par une diminution du nombre des mitoses. Celle-ci va toujours en augmentant jusqu'à la douzième heure, où l'absence des cinèses est totale. Cette phase acinétique dure jusqu'au septième jour, époque où l'on voit réapparaître les mitoses. On peut ainsi considérer trois phases dans l'action des rayons X :

Une première phase cinétique ,

Une phase acinétique,

Une deuxième phase cinétique.

La première phase cinétique dure 12 heures après l'irradiation. Outre la diminution progressive du nombre des mitoses, elle est caractérisée par des mitoses anormales (picnoses), qui commencent à apparaître 30 minutes après l'irradiation, et que l'on rencontre en grand nombre jusqu'à 3 h. 1/2 après l'irradiation. Depuis ce moment, les télophases et les anaphases disparaissent. La phase acinétique commence à la douzième heure et finit au septième jour. La deuxième phase cinétique est caractérisée par quelques mitoses anormales.

*Action d'une dose de 450 R.*

1° *Examen pratiqué 10 minutes après l'irradiation.* — L'aspect est exactement le même que celui présenté par les témoins.

2° *Examen pratiqué 30 minutes après l'irradiation.* — On ne trouve au point de vue du nombre des mitoses aucune différence nette avec les témoins. Les différents stades sont tous représentés, on ne rencontre aucune lésion nette.

3° *Examen pratiqué 1 heure après l'irradiation.* — Même aspect qu'après 30 minutes, mais les mitoses sont un peu moins nombreuses. On observe quelques métaphases avec chromosomes gonflés et quelques télophases, dans lesquelles les noyaux fils restent unis par des ponts chromatiques plus ou moins nombreux.

4° *Examen pratiqué 1 h. 1/2 après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a nettement diminué. On trouve tous les stades mais très peu de télophases et d'anaphases. De nombreuses mitoses sont

anormales ; les unes ont des chromosomes gonflés, d'autres ont un noyau représenté par une masse chromatique épineuse ; dans les télophases, on voit les deux noyaux fils réunis par un pont chromatique. La picnose apparaît donc nettement à ce stade de 1 h. 1/2.

5° *Examen pratiqué* 4 *heures après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a très considérablement diminué. On ne trouve plus de télophases et d'anaphases. Les prophases qu'on rencontre ont un aspect normal ; les autres cellules sont toutes en picnose. On observe ici le bloc chromatique épineux figurant le noyau ou les masses chromatiques irrégulières à bords arrondis.

6° *Examen pratiqué* 6 *heures après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a encore diminué. On ne trouve ni télophases ni anaphases. Les métaphases sont reconnaissables, mais les chromosomes sont gonflés et plus ou moins fusionnés. On observe quelques noyaux représentés par des blocs chromatiques plus ou moins épineux et d'autres constitués par des chromosomes fragmentés et presque réduits parfois en poussière.

7° *Examen pratiqué* 8 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses sont rares. On rencontre des prophases dont l'aspect paraît normal et des cellules, dans lesquelles le noyau est représenté par un bloc chromatique plus ou moins irrégulier. Il semble s'agir ici de métaphases en voie de picnose plus ou moins avancée.

8° *Examen pratiqué* 12 *heures après l'irradiation.* — Tous les noyaux sont au repos. On ne rencontre aucune mitose normale ou anormale.

9° *Examens pratiqués* 1 *et* 2 *jours après l'irradiation.* — L'aspect est le même qu'après 12 heures.

10° *Examen pratiqué* 3 *jours après l'irradiation.* — Beaucoup de mitoses sont réapparues ; elles sont cependant en nombre très nettement inférieur à celui qu'on a observé avant l'irradiation. Les prophases ont un aspect normal, les métaphases sont formées de chromosomes plus ou moins dispersés dans la cellule, certaines anaphases sont constituées par des blocs reliés par un pont chromatique, et l'on rencontre, en outre, des noyaux réduits à l'état de fragments chromatiques peu volumineux.

11° *Examen pratiqué* 4 *jours après l'irradiation.* — Les mitoses sont devenues très rares. On trouve quelques prophases et quelques cellules renfermant des fragments de chromosomes.

12° *Examen pratiqué* 7 *jours après l'irradiation.* — Les mitoses ont de nouveau complètement disparu.

En résumé, nous retrouvons, après action d'une dose de 450 R, les mêmes effets essentiels qu'après l'action d'une dose de 1000 R, mais il y a dans le temps d'apparition des lésions quelques différences. Dans la première phase cinétique la diminution du nombre des mitoses n'a pu être constatée qu'à une heure et encore était-elle assez légère ; à 1 h. 1/2, apparaissent les lésions picnotiques ; la disparition des télophases et des anaphases est réalisée 4 heures après l'irradiation. La phase acinétique est ici très réduite ; elle commence aussi à 12 heures, mais se termine au troisième jour. Quant à la seconde phase cinétique, elle est caractérisée par des mitoses plus nombreuses, mais qui, elles aussi, durent peu et sont anormales.

*Action d'une dose de 300 R.*

1° *Examen pratiqué 1 h. 1/2 après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses ne paraît pas diminué ; on retrouve tous les stades, et les figures de division nucléaire ne présentent rien d'anormal.

2° *Examen pratiqué 3 h. 1/2 après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a nettement diminué. On rencontre encore tous les stades, mais certaines figures de division sont anormales. Beaucoup de métaphases montrent des chromosomes gonflés et plus ou moins unis entre eux. Certaines anaphases sont représentées par deux blocs chromatiques irréguliers, reliés par des chromosomes n'ayant pas subi l'ascension.

3° *Examen pratiqué 7 h. 1/2 après l'irradiation.* — Les anaphases et les télophases ont à peu près totalement disparu. Le nombre des mitoses a encore diminué. Les prophases mises à part, toutes les figures de division sont anormales. Elles sont constituées par des chromosomes gonflés ou fusionnés en des blocs plus ou moins homogènes ou encore par des débris chromatiques paraissant être des chromosomes réduits dans toutes leurs dimensions. Cette réduction de volume des chromosomes est aussi manifeste dans certaines plaques équatoriales où les chromosomes sont plus petits que normalement et très irréguliers.

4° *Examen pratiqué 12 heures après l'irradiation.* — Tous les noyaux sont au repos, mais on rencontre, dans quelques cellules, à la place du noyau quelques petites masses chromatiques irrégulières ; ce sont des éléments, dans lesquels s'achève la dégénérescence nucléaire.

5° *Examen pratiqué 17 heures après l'irradiation.* — L'état de repos continue ; on peut encore retrouver quelques éléments en dégénérescence signalés à 12 heures.

6° *Examens pratiqués 24 et 36 heures après l'irradiation.* — Les noyaux sont toujours au repos, les figures de dégénérescence ont disparu totalement.

7° *Examen pratiqué 48 heures après l'irradiation.* — On retrouve de nombreuses mitoses, dont la très grande majorité est constituée de prophases à aspect normal. On voit aussi quelques rares métaphases ne paraissant pas non plus anormales ; les rares anaphases qu'on trouve dans les préparations sont, au contraire, toutes anormales, soit qu'il persiste un pont chromatique entre les deux noyaux fils en train de se constituer, soit que les chromosomes n'opèrent pas tous ensemble leur ascension, ce qui enlève à la figure sa régularité.

8° *Examen pratiqué 3 jours après l'irradiation.* — Les mitoses sont nombreuses, et tous les stades sont représentés. L'aspect est le même qu'à 48 heures, mais on rencontre, en outre, des cellules, dont le noyau est au repos, et à côté duquel se trouvent de petits blocs chromatiques arrondis.

9° *Examen pratiqué 4 jours après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses est très nettement diminué. La très grande majorité des cellules en cinèse sont en prophase. On rencontre beaucoup de cellules, dont les noyaux sont au repos et qui renferment, en outre, de petits blocs chromatiques arrondis figurant de petits noyaux accessoires au nombre de un, deux ou trois par cellule.

10° *Examen pratiqué 6 jours après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a considérablement diminué. Les prophases sont à peu près absentes. Les figures mitotiques se résument à des métaphases ou anaphases constituées par des chromosomes irrégulièrement dispersés dans les cellules et fréquemment diminués de volume et fragmentés. On n'observe aucune télophase. On retrouve, à ce stade, de nombreuses cellules renfermant, à côté du noyau, les petits noyaux accessoires signalés précédemment.

11° *Examen pratiqué 12 jours après l'irradiation.* — Toutes les cellules sont au repos nucléaire ; beaucoup d'entre elles renferment, à côté du noyau, les petits noyaux accessoires précédemment signalés. Tous les noyaux de la gaine sont en picnose, les autres retiennent, au contraire, très mal la laque ferrique d'hématoxyline.

En résumé, avec la dose de 300 R, on observe, tout d'abord, comme avec des doses plus fortes, une diminution du nombre des mitoses ; elle n'apparaît nettement que 3 h. 1/2 après l'irradiation. A ce moment, se manifestent les premières lésions de la première phase cinétique ; elles sont, comme pour les doses précédemment étudiées,

constituées par des gonflements de chromosomes et des phénomènes de picnose. Le nombre des mitoses diminue régulièrement, et la phase acinétique commence à 12 heures comme pour les doses plus élevées ; elle se termine ici à 48 heures, époque où commence la deuxième phase cinétique. Celle-ci se caractérise, tout d'abord, par la réapparition de nombreuses cinèses paraissant normales pour les stades de prophases et de métaphases, anormales pour les anaphases. Le nombre des mitoses continue à se maintenir élevé le troisième jour, pour diminuer le quatrième, où l'on voit de nombreuses cellules au repos montrer des noyaux accessoires, dont certains étaient déjà apparus le jour précédent. Au sixième jour, le nombre de mitoses a encore nettement diminué et, au douzième jour, elles ont totalement disparu ; la racine est morte.

*Action d'une dose de* 200 *R.*

1° *Examens pratiqués* 15 *et* 30 *minutes après l'irradiation.* — Les préparations, faites à ces stades, ne montrent aucune différence avec les témoins. Le nombre des mitoses n'est pas diminué, et on ne rencontre pas de cinèses anormales.

2° *Examen pratiqué* 1 *heure après l'irradiation.* — L'aspect général est toujours le même que celui présenté par les témoins. Quelques rares télophases montrent cependant des ponts chromatiques, tendus entre les deux noyaux fils.

3° *Examen pratiqué* 3 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a diminué. Cette diminution porte surtout sur les anaphases et les télophases ; cependant, tous les stades de la division sont encore représentés. A part quelques cas très rares et discutables, les mitoses ont gardé l'aspect normal.

4° *Examen pratiqué* 5 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a considérablement diminué. On arrive cependant à retrouver tous les stades, mais, les prophases mises à part, on observe que presque toutes les cinèses sont anormales ; les métaphases et les anaphases ont des chromosomes gonflés et plus ou moins fusionnés, et les télophases montrent les deux noyaux fils unis par des ponts chromatiques. La picnose du noyau en mitose est donc à peu près générale.

5° *Examen pratiqué* 8 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses sont très rares. On rencontre surtout des prophases et des métaphases. Les premières ont une allure normale, et les chromosomes des secondes paraissent gonflés dans la plupart des cas.

6° *Examen pratiqué* 10 *heures après l'irradiation.* — Même aspect qu'à 8 heures, mais les mitoses sont encore plus rares.

7° *Examen pratiqué* 12 *heures après l'irradiation.* — Absence totale de mitoses ; tous les noyaux ont la structure de repos. Les noyaux picnotiques ont disparu.

8° *Examens pratiqués* 17, 24, 30 *heures après l'irradiation.* — L'aspect est le même qu'à 12 heures.

9° *Examen pratiqué* 36 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses ont réapparu ; on reconnaît tous les stades, mais, d'une façon générale, le nombre des cinèses est inférieur à celui qu'on trouve chez les témoins. Ces mitoses ont l'aspect habituel, cependant on constate, dans certaines anaphases, une ascension anormale des chromosomes, qui se détachent des noyaux fils en formation et constituent de petits paquets aberrants, sans qu'il soit possible de décrire, avec certitude, des mitoses tri- et quadripolaires, les fuseaux et les sphères attractives n'étant pas assez nettement dessinés.

10° *Examen pratiqué* 49 *heures après l'irradiation.* — Même aspect qu'à 36 heures. Le nombre des mitoses est toujours nettement inférieur à celui qu'on trouve chez les témoins.

En résumé, une dose de 200 R détermine des lésions, qui se traduisent par une diminution du nombre des mitoses constatable 3 h. 1/2 après l'irradiation ; elle augmente jusqu'à la douzième heure où commence la phase acinétique. Pendant la première phase cinétique, on retrouve les picnoses signalées avec les doses plus fortes, mais celles-ci n'apparaissent guère que 5 h. 1/2 après l'irradiation. La deuxième phase cinétique commence 36 heures après l'irradiation. Le nombre des mitoses est plus petit que chez les témoins ; beaucoup de mitoses paraissent normales, un certain nombre manifestent des lésions, qui se caractérisent essentiellement par des troubles dans l'ascension des chromosomes.

La dose de 200 R n'étant pas une dose léthale, je n'ai pas cru nécessaire de poursuivre l'étude cytologique au delà de la quarante-neuvième heure après l'irradiation.

*Action d'une dose de* 150 *R.*

1° *Examens pratiqués* 1 *et* 2 *heures après l'irradiation.* — On ne note aucune différence avec les témoins.

2° *Examen pratiqué* 3 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a légèrement diminué. On rencontre tous les stades, ils

paraissent normaux sauf certaines télophases, dont les noyaux fils sont unis par des ponts de chromatine.

3° *Examen pratiqué* 5 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Les mitoses sont moins nombreuses qu'au stade précédent ; on rencontre cependant toutes les phases de la division. On ne note comme anomalie que l'existence des ponts chromatiques signalés plus haut à la télophase ou à la fin de l'anaphase.

4° *Examen pratiqué* 8 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses sont rares, mais toutes les figures sont encore représentées ; elles ont le même aspect qu'aux stades précédents.

5° *Examen pratiqué* 10 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses sont très rares ; les anaphases et les télophases font complètement défaut, les prophases et les métaphases paraissent normales.

6° *Examen pratiqué* 12 *heures après l'irradiation.* — Tous les noyaux sont au repos.

7° *Examen pratiqué* 24 *heures après l'irradiation.* — On retrouve des mitoses assez nombreuses, à tous les stades ; elles paraissent normales dans l'ensemble, mais certaines anaphases et télophases montrent un retard dans l'ascension de certains chromosomes ou une répartition inégale de la chromatine entre les deux noyaux fils ou la division en deux parties inégales d'un des deux noyaux fils en voie de constitution.

Je n'ai pas dépassé ce stade de 24 heures, parce que la dose de 150 R n'est pas une dose léthale.

En résumé, cette dose de 150 R nous montre encore les trois phases, mais ici la phase acinétique est très courte, de 12 à 24 heures dans mes observations. Dans la première phase cinétique, apparaît une diminution progressive du nombre des mitoses à partir de 3 h. 1/2 et des lésions très légères dans les noyaux aux dernières phases de la mitose. Les lésions, constatées au cours de la deuxième phase cinétique, sont aussi très légères.

*Action d'une dose de* 100 *R.*

1° *Examen pratiqué* 1 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Les préparations ne diffèrent en rien de celles obtenues avec les témoins. On rencontre des mitoses en grand nombre et à tous les stades ; elles paraissent normales.

2° *Examen pratiqué* 3 *h.* 1/2 *après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a diminué. La grande majorité des cinèses est constituée par

des prophases ; on rencontre cependant tous les stades. Il n'est pas possible de caractériser avec certitude une mitose anormale.

3° *Examen pratiqué 7 h. 1/2 après l'irradiation.* — Le nombre des mitoses a encore diminué, mais on retrouve tous les stades, et ils sont apparemment normaux.

4° *Examen pratiqué* 10 *heures après l'irradiation.* — Les mitoses sont à peu près aussi nombreuses qu'à 7 h. 1/2 ; on retrouve tous les stades, et aucune anomalie n'apparaît dans les figures de division.

5° *Examen pratiqué* 12 *heures après l'irradiation.* — On retrouve ici un nombre de mitoses égal à ce qu'il était avant l'irradiation. La préparation obtenue est semblable à celle fournie par un témoin.

6° *Examens pratiqués* 17, 24, 48 *heures après l'irradiation.* — On constate, dans tous les cas, que les irradiés sont semblables aux témoins.

En résumé, avec la dose de 100 R, on ne retrouve plus la phase acinétique. On ne relève pas non plus de trouble dans la division cellulaire. L'action des rayons paraît donc s'être réduite à une diminution du nombre des cellules en mitose. Celle-ci commence 3 h. 1/2 après l'irradiation, elle est maxima 10 heures après l'irradiation. Le nombre des cinèses redevient très rapidement normal. (Deux heures plus tard dans mes observations).

*Action d'une dose de* 50 *R.*

La dose de 100 R n'ayant pas été suivie de manifestation de lésion dans les cellules irradiées, il apparaissait superflu d'en rechercher avec des doses plus faibles. Je me suis seulement demandé, si la diminution du nombre des mitoses qu'on observe avec 100 R pourrait aussi être mise en évidence avec une dose moitié moindre.

Des examens pratiqués 10 et 12 heures après l'application de la dose de 50 R montrent une diminution très nette du nombre des cinèses ; on rencontre tous les stades de la mitose, et aucun d'eux ne paraît anormal.

*Action d'une dose de* 30 *R.*

Les résultats obtenus avec la dose de 50 R m'ont amenée à rechercher si la diminution du nombre des mitoses pouvait être obtenue avec une dose encore plus faible. J'ai pratiqué des examens de racines irradiées avec cette dose 3, 5 1/2, 8, 10 et 12 heures après l'irradiation. Ces racines se sont toutes montrées semblables aux témoins ; cependant, l'examen, effectué 10 heures après l'irradiation, met en évidence

une légère diminution du nombre des mitoses mais de si peu d'importance qu'il ne m'a pas paru utile d'étudier l'action de doses encore plus faibles, aussi ai-je limité ici mes recherches.

* * *

Ainsi qu'on a pu le remarquer, l'étude cytologique, dont je viens de rapporter les résultats, a trait seulement au noyau cellulaire. Je n'ai pas cherché à mettre en évidence les lésions cytoplasmiques qui pouvaient accompagner les lésions nucléaires, et je n'ai pas cru devoir m'étendre longuement sur toutes les particularités des lésions cellulaires produites par les rayons X ; on sait, en effet, qu'elles n'ont rien de spécifique.

Au point de vue auquel je me suis placée, l'action des rayons X peut être résumée de la façon suivante. A la suite d'une irradiation, on observe une première phase, pendant laquelle les mitoses en cours continuent (première phase cinétique), puis une deuxième phase, pendant laquelle ne se réalise aucune cinèse (phase acinétique), et enfin une dernière phase, au cours de laquelle des mitoses réapparaissent (deuxième phase cinétique). Cependant, pour les doses faibles, égales, ou inférieures à 100 R, la phase acinétique ne se produit pas complètement ; les mitoses peuvent diminuer de nombre, mais on ne constate pas leur disparition totale. Dans la première phase cinétique, on observe des lésions des cellules en mitoses caractérisées surtout par des phénomènes picnotiques ; au cours de la seconde phase cinétique, on remarque des troubles dans l'ascension des chromosomes, dans la répartition de la chromatine des noyaux fils et la fragmentation des chromosomes.

Le fait le plus frappant est que, quelle que soit la dose, la phase acinétique commence au voisinage de la douzième heure après l'irradiation. Cette phase dure d'autant plus longtemps que la dose appliquée est plus forte. La seconde phase cinétique apparaît, en effet, à 7 jours pour une dose de 1000 R, à 3 jours pour 450 R, à 2 jours pour 300 R, à 36 heures pour 200 R, à 24 heures pour 150 R. J'ai représenté ces résultats dans la figure III en portant, en ordonnées, les doses de rayons et, en abscisses, les heures, auxquelles ont lieu la disparition et la réapparition des mitoses pour les différentes doses utilisées. On voit qu'en prolongeant cette courbe au-dessous de la dose de 150 R, l'époque où la seconde phase cinétique devrait commencer pour la dose de 100 R tend à se confondre avec le moment où devrait débuter la phase acinétique. Ce fait rend bien compte des résultats que j'ai obtenus ; j'ai, en effet, remarqué qu'avec cette

dose de 100 R, au lieu de voir apparaître à 12 heures la phase acinétique, on constate, au contraire, la présence de cinèses plus nombreuses, poussée mitotique correspondant en somme à la seconde phase cinétique observée après l'action des doses plus fortes.

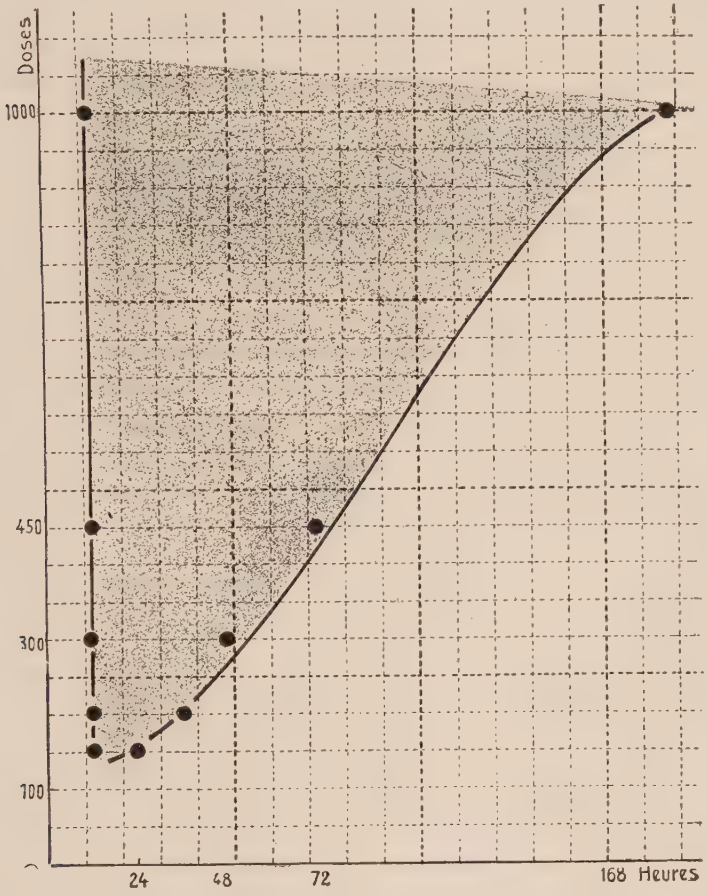



**Fig. III.** — *Durée de la phase acinétique en fonction de la dose.* — (Pour chaque dose, l'intervalle compris entre les deux points mesure la durée de la phase acinétique).

En ordonnées : Doses (en R).
En abscisses : Temps écoulé depuis l'irradiation (en heures).

Il est à remarquer, d'autre part, que, plus la dose est forte, plus la diminution du nombre des mitoses se manifeste rapidement après l'irradiation, et plus aussi les lésions de la première phase cinétique

sont précoces et accentuées. De même, la seconde phase cinétique est d'autant plus courte que la dose est plus élevée.

Il est, de même, intéressant d'observer qu'à la suite d'une irradiation, le nombre des mitoses diminue, et qu'il se produit au cours de la première phase cinétique une disparition des anaphases et des télophases, tandis que les prophases et les métaphases persistent. Le moment, auquel a lieu ce dernier phénomène, varie avec la dose utilisée ; je l'ai trouvé 1 heure après l'irradiation pour une dose de 1000 R, après 4 heures, pour une dose de 450 R, après 7 h. 1/2, pour une dose de 300 R, après 8 heures, pour une dose de 200 R, après 10 heures, pour une dose de 150 R. Cette disparition ne se produit pas pour une dose de 100 R et de plus faibles doses, bien que la diminution du nombre des mitoses se manifeste avec de petites doses.

Avant de comparer les résultats que j'ai obtenus avec ceux des auteurs qui m'ont précédée, il me paraît nécessaire de montrer quelle est l'action sur la croissance des racines des diverses doses de rayons X de 0,13 à 0,25 U.Å. utilisées pour l'étude cytologique. J'ai réuni dans le Tableau XIX les données qui m'ont été fournies par quatorze expériences sur ce sujet. Ce Tableau montre, pour chaque jour et pour différentes doses, de quelle longueur se sont accrues les racines irradiées.

Il ressort de ce Tableau que des doses de 450 R ou supérieures arrêtent la croissance de la racine en quelques jours. Les doses de 100 R ou inférieures à 100 R ne modifient pas la vitesse de croissance. Pour les doses intermédiaires de 200 à 300 R, les résultats sont différents. La dose de 300 R arrête aussi le développement mais après un temps plus long que pour de plus fortes doses ; 200 R, au contraire, retarde la croissance, mais ne l'arrête pas, même après un temps très long (27 jours). Les doses intermédiaires entre 200 et 300 R retardent ou arrêtent l'accroissement suivant les cas.

On peut résumer ces données en disant que la lésion produite par des doses égales ou inférieures à 100 R ne se manifeste pas par un retard de croissance, que des doses de 100 à 300 R retardent l'accroissement, mais, en général, ne l'arrêtent pas, que la dose de 300 R l'arrête habituellement, et que les doses supérieures l'arrêtent toujours et en un temps relativement court.

Si nous rapprochons ces résultats de l'étude cytologique que nous venons de faire, il y a, tout d'abord, un premier point qui doit retenir l'attention. Après l'action d'une dose de 1.000 R, les mitoses sont diminuées, 15 minutes après l'irradiation ; elles sont complètement

arrêtées après 12 heures et ne réapparaissent qu'au septième jour. Or, la croissance des racines irradiées avec 1.000 R ou une dose plus forte se poursuit pendant 4 à 6 jours ; elle est, comparativement à celle des témoins, très élevée pendant les deux premiers jours. Il s'ensuit que cet accroissement des racines irradiées n'est pas dû aux mitoses, puisque celles-ci s'arrêtent à la douzième heure ; la croissance des racines ne peut donc s'expliquer que par l'allongement des cellules après leur division. Quand les mitoses de la seconde phase cinétique apparaissent, le développement est définitivement arrêté, ce qui nous permet d'affirmer que les cinèses sont des mitoses dégénératives, puisqu'elles ne sont pas capables d'intervenir dans la croissance de la racine. Pour la faible dose de 100 R et des doses plus petites, la diminution temporaire du nombre des mitoses est trop courte pour se manifester par une croissance inférieure à celle des témoins, et, comme les cinèses restent normales avec ces faibles irradiations, on comprend aisément qu'il n'y ait pas retard d'accroissement.

Pour les doses intermédiaires, les relations qui existent entre les lésions mises en évidence par l'étude cytologique et les troubles apportés à la croissance des racines sont aussi très faciles à saisir. On remarque, en effet, qu'une dose de 450 R se comporte, au point de vue de l'accroissement, comme une dose plus forte ; au point de vue cytologique, la phase acinétique commence en même temps (12 heures), mais se termine beaucoup plus tôt (3 jours) ; ce fait reste sans importance pour la croissance de la racine, parce que les mitoses de la seconde phase cinétique sont des mitoses dégénératives.

Pour des doses de 200 à 300 R, l'évolution est, soit arrêtée, soit seulement retardée. Au cours des deux premiers jours après l'irradiation, la racine continue à croître par allongement cellulaire, les mitoses étant arrêtées ; puis apparaissent les cinèses de la seconde phase cinétique. Si elles sont toutes dégénératives, la croissance s'arrête (c'est le cas habituel pour 300 R) ; si des mitoses normales peuvent se constituer, l'accroissement continue, mais il est d'autant plus retardé que les cinèses normales sont en plus petit nombre ; il apparaît nettement que, plus la dose est élevée, plus est petit le nombre des cellules capables de mitoser normalement. La réapparition de la croissance peut ainsi se manifester après un temps plus ou moins long, à la suite du déclanchement de la seconde phase cinétique.

De cette étude cytologique se dégagent donc les faits que les rayons X ont agi :

1° Sur les cellules en mitose, en troublant leur évolution ; la

## TABLEAU

| Expériences | Nombre d'objets | Doses | Accroissemen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Jour 1 | Jour 2 | Jour 3 | Jour 4 | Jour 5 | Jou 6 |
| 116 | 7 | témoins | 5.1 | 10.3 | 7.3 | 7.3 | 4.8 | 3. |
| | | 50 H (= 3450 R) | 4.3 | 6.3 | 2.0 | 1.2 | 0.1 | 0 |
| 117 | 12 | témoins | 10.7 | 10.2 | — | 14.5 | 8.6 | 8. |
| | | 15 H (= 1035 R) | 8.4 | 7.5 | — | 7.5 | 1.7 | 0. |
| | | 30 H (= 1070 R) | 9.0 | 9.0 | — | 4.2 | 0.5 | 0. |
| 118 | 12 | témoins | 15.2 | 11.5 | 12.3 | 6.0 | 4.5 | 6. |
| | | 3 H (= 207 R) | 12.7 | 6.7 | 5.0 | 3.7 | 2.5 | 2. |
| | | 8 H (= 552 R) | 11.2 | 6.2 | 5.0 | 1.7 | 1.0 | 1. |
| | | 1000 H (= 6900 R) | 6.7 | 4.2 | 2.0 | 1.3 | 0.2 | 0. |
| 119 | 9 | témoins | 18.7 | 8.0 | 8.0 | 6.5 | 4.3 | 5. |
| | | 175 R | 16.5 | 6.5 | 6.0 | 5.5 | 3.0 | 3. |
| | | 250 R | 16.5 | 5.0 | 2.5 | 3.0 | 2.0 | 0. |
| | | 300 R | 17.0 | 6.5 | 3.0 | 1.0 | 0 | 0 |
| 120 | 19 | témoins | — | 17.8 | 8.4 | 11.2 | 7.2 | 9. |
| | | 450 R | — | 19.7 | 5.1 | 2.0 | 0.6 | 0. |
| | | 900 R | — | 11.7 | 1.4 | 1.1 | 0.3 | 1. |
| 121 | 16 | témoins | 8.2 | 8.1 | 7.0 | 6.8 | 6.9 | 6. |
| | | 100 R | 8.1 | 7.0 | 6.9 | 6.6 | 6.3 | 6. |
| | | 200 R | 8.3 | 7.5 | 7.5 | 7.0 | 6.5 | 5. |
| 122 | 16 | témoins | 13.5 | 11.7 | 14.6 | 12.6 | 10.3 | 12. |
| | | 300 R | 11.6 | 6.6 | 1.3 | 1.6 | 1.1 | 0. |
| 123 | 16 | témoins | 12.1 | 10.6 | 10.6 | — | — | 29. |
| | | 280 R | 12.1 | 9.7 | 2.2 | — | — | 1. |
| 124 | 16 | témoins | 11.1 | 10.2 | 12.2 | — | 28.7 | — |
| | | 250 R | 12.5 | 11.8 | 4.1 | — | 3.7 | — |
| 125 | 16 | témoins | — | — | 42.6 | — | 21.6 | — |
| | | 250 R | — | — | 13.3 | — | 4.5 | — |
| 126 | 14 | témoins | 6.0 | 10.0 | 4.7 | — | — | 15. |
| | | 230 R | 8.4 | 9.0 | 3.2 | — | — | 3. |
| 127 | 20 | témoins | 15.0 | 9.2 | 11.0 | — | 28.0 | — |
| | | 300 R | 10.0 | 6.3 | 3.4 | — | 2.4 | — |
| 128 | 16 | témoins | — | 19.3 | 8.0 | — | 8.5 | 7.6 |
| | | 230 R | — | 13.3 | 4.7 | — | 2.8 | 1.1 |
| 129 | 8 | témoins | 6.0 | 5.0 | 10.0 | 7.0 | 6.0 | — |
| | | 150 R | 4.5 | 4.5 | 5.5 | 2.0 | 3.0 | — |

# XIX

uotidien de la racine d'oignon (en mm.)

| our 7 | Jour 8 | Jour 9 | Jour 10 | Jour 11 | Jour 12 | Jour 13 | Jour 14 | Jour 15 | Jour 16 | Jour 17 | Jour 21 | Jour 27 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 9.7 | 6.2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0 | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0 | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 3.0 | 5.2 | 5.0 | — | — | — | — | — | 33.0 | — | — | — | — |
| 1.0 | 0.5 | 0.5 | — | — | — | — | — | 3.2 | — | — | — | — |
| 0.2 | 0 | 0 | — | — | — | — | — | 0 | — | — | — | — |
| 0 | 0 | 0 | — | — | — | — | — | 0 | — | — | — | — |
| 5.0 | 5.6 | — | — | 15.0 | — | — | — | — | — | — | — | 23.6 |
| 5.5 | 2.0 | — | — | 8.0 | — | — | — | — | — | — | — | 37.0 |
| 0.5 | 4.0 | — | — | 5.0 | — | — | — | — | — | — | — | 11.0 |
| 0 | 0 | — | — | 0 | — | — | — | — | — | — | — | 0 |
| 3.5 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.2 | 6.4 | 6.6 | 6.5 | — | — | — | — | — | — |
| 5.9 | 5.7 | 5.8 | 6.1 | 6.0 | 6.1 | 6.0 | — | — | — | — | — | — |
| 5.1 | 4.8 | 4.4 | 4.2 | 3.9 | 3.7 | 3.6 | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 38.6 | — | — | — | — | 64.5 | — | — | — | — | — |
| — | — | 0.1 | — | — | — | — | 0 | — | — | — | — | — |
| 3.3 | — | — | — | 20.5 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0 | — | — | — | 0 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0.7 | — | 18.0 | — | — | 36.5 | — | — | — | 36.2 | — | — | — |
| 2.8 | — | 0 | — | — | 0.2 | — | — | — | 2.6 | — | — | — |
| 0.2 | — | — | — | 31.3 | — | — | — | 20.8 | — | — | — | — |
| 0.3 | — | — | — | 0 | — | — | — | 0 | — | — | — | — |
| — | 17.2 | — | 12.5 | — | 10.7 | — | — | 22.0 | — | 11.0 | — | — |
| — | 1.0 | — | 0.1 | — | 0.1 | — | — | 0.5 | — | 0.4 | — | — |
| 1.2 | — | — | 30.2 | — | — | 26.7 | — | — | — | — | — | — |
| 1.4 | — | — | 1.3 | — | — | 0 | — | — | — | — | — | — |
| — | 23.3 | — | 15.8 | — | — | 18.6 | — | — | — | — | — | — |
| — | 1.9 | — | 0.3 | — | — | 0 | — | — | — | — | — | — |
| 1.0 | — | 18.5 | — | 24.0 | — | 31.5 | — | 14.0 | — | 19.5 | 9.5 | — |
| 1.0 | — | 0 | — | 0 | — | 4.0 | — | 4.5 | — | 10.0 | 12.5 | — |

caractéristique de cette action se manifeste par l'apparition de phénomènes de picnose.

2° Sur les cellules au repos, en les empêchant d'entrer en mitose au moment où elles auraient dû commencer normalement à se diviser. Il est clair, en effet, que la diminution du nombre des cinèses n'est pas imputable à une disparition plus rapide que normalement des cellules en mitose irradiées, mais à l'absence de division des cellules au repos. La preuve en est fournie par l'existence de la phase acinétique

De ces deux actions, la plus fine, celle qui nécessite la plus faible dose, est certainement celle qui empêche les cellules au repos de se diviser.

La preuve en est que de faibles doses, diminuant le nombre des mitoses, ne déterminent aucune anomalie dans les cinèses existantes et corrélativement autorisent une croissance sensiblement égale à celle des témoins.

### 3. — Interprétation des résultats et discussion.

Les doses de rayons X de 0,13 à 0,25 U.Ä. appliquées aux racines d'Allium cepa peuvent être divisées en trois catégories :

a) *Doses léthales* arrêtant la croissance en quelques jours (300 R et doses supérieures) ;

b) *Doses lésantes* retardant la croissance et pouvant même l'arrêter après un certain temps relativement long (doses supérieures à 100 R jusqu'à 300 R) ;

c) *Doses indifférentes* n'ayant pas un retentissement net sur l'accroissement (100 R et doses inférieures).

a) *Doses léthales.* — Les cellules irradiées en mitose achèvent leur division plus ou moins normalement, puis on ne rencontre plus d'anaphases ni de télophases. Plus tard, toutes les cinèses ont disparu, les prophases et les métaphases n'ont donc pas évolué normalement ; suivant les doses, elles ont donné naissance à des noyaux picnotiques indéchiffrables ou elles ont régressé vers les stades de repos, dont elles ont repris la structure. Il est impossible de dire, si des cellules irradiées au repos ne sont pas ultérieurement entrées en prophase, puis ont ensuite régressé, mais, d'une façon générale, on peut affirmer que la première phase cinétique est caractérisée par les lésions des cellules irradiées en mitose et par la non-entrée en division des cellules irradiées au repos. La deuxième phase cinétique est caractérisée par des mitoses dégénératives.

b) *Doses lésantes.* — On retrouve, pour la première phase cinétique, les faits signalés après application des doses léthales, lorsque la dose employée est capable de retarder nettement la croissance ; mais ici les mitoses s'achèvent pendant un temps plus long après l'irradiation qu'après l'action des doses léthales. A aucun moment, au cours de cette première phase cinétique, on ne constate l'absence d'anaphases et de télophases ; le retour au repos de certaines prophases ou métaphases reste vraisemblable, mais n'est pas certain. La deuxième phase cinétique est caractérisée par des mitoses anormales (trouble de l'ascension des chromosomes), qui donnent naissance à des cellules plurinucléées ou renferment des grains chromatiques à côté du noyau ; mais la plupart de ces cinèses ne sont pas dégénératives ; ce qui permet à la racine de continuer à s'accroître avec moins d'intensité, toutefois, que pour les témoins.

c) *Doses indifférentes.* — Avec ces doses inactives sur la croissance, les rayons X ne manifestent leur action par aucune lésion cellulaire mais seulement par une diminution temporaire de l'activité mitotique, d'autant moins marquée que la dose utilisée est plus faible. La dose de 30 R me paraît être la plus petite dose dont l'action puisse être manifeste à ce point de vue.

J'ai rappelé précédemment les résultats obtenus sur les végétaux par Koernicke, Casemir, Komuro, Rochlin et Gleichgewicht à la suite de leur étude cytologique de plantes irradiées. Ce résumé suffit à montrer que les dégénérescences des cellules en mitose que j'ai observées avaient déjà été signalées par ces auteurs. Mes résultats expliquent pourquoi Casemir a eu tort de conclure à une absence de latence, lorsqu'il a constaté qu'après l'action d'une dose de 200 H donnée en 2 h. 1/2, on trouve des lésions cellulaires et une absence de mitoses. Si le temps d'irradiation avait été réduit, il est certain que la latence serait apparue.

Contrairement à Koernicke, les recherches que j'ai faites ne m'ont montré aucune amitose, et les cellules plurinucléées que j'ai signalées ne sont certainement pas obtenues à la suite de ce processus, pas plus d'ailleurs qu'à une absence de plasmodiérèse.

Mes recherches ayant été effectuées d'une façon systématique, j'ai pu mettre en évidence des faits qui avaient échappé aux auteurs précédents, et établir, suivant les doses, l'existence et l'évolution de trois phases successives dans les effets déterminés par l'action des rayons en ce qui concerne un végétal. Ces résultats sont à rapprocher de ceux d'Alberti et Politzer sur la cornée ; je tiens à souligner

ici le parallélisme qui existe entre mes résultats et les leurs. J'ai trouvé, comme ces auteurs, que ce qu'ils appellent effet primaire (première phase cinétique) est essentiellement caractérisé par des picnoses ; dans l'effet secondaire (deuxième phase cinétique), on remarque essentiellement un trouble dans la migration polaire des chromosomes ; la durée de l'intervalle sans mitose augmente avec des doses croissantes.

Mais je me sépare de ces auteurs, lorsqu'ils concluent « qu'après « l'intervalle, les mitoses réapparaissent, mais qu'elles sont anormales ». En réalité, parmi les cinèses de la seconde phase cinétique, il existe des mitoses normales et en nombre d'autant plus grand que la dose employée est plus faible.

Alberti et Politzer ont vu, d'autre part, la phase de l'intervalle sans mitoses apparaître avec des doses très faibles ; sur les oignons, je n'ai pu trouver cette phase en employant une dose égale ou inférieure à 100 R : je n'ai obtenu, en effet, qu'une diminution du nombre des mitoses.

Le début de la phase acinétique a été observé par ces auteurs, en général, à la dixième heure, c'est-à-dire à peu près au moment où je l'ai noté également. Rochlin et Gleichgewicht ont remarqué l'absence totale des mitoses 6 heures après l'application d'une dose de 5 HED à des graines de Phaseolus vulgaris, ce qui montre que le début de la phase acinétique doit varier avec les objets. Lacassagne et Monod, sur le cancer, ont constaté la disparition des mitoses à la fin d'une irradiation ayant duré cinq heures ; le rétablissement des mitoses s'est fait, disent-ils, dans les premières heures qui ont suivi l'irradiation, et 18 heures plus tard les cinèses étaient aussi nombreuses qu'avant l'action des rayons. Bien que la dose employée fût très grande, la phase de l'intervalle sans mitoses avait donc été extrêmement courte comparée à celle que j'ai obtenue : Les auteurs admettent, d'autre part, que toutes les cinèses qui suivirent cette période furent dégénératives. Strangeways et Oakley ont observé, sur leurs cultures de tissus, la disparition des mitoses 80 minutes après des irradiations ayant duré de 30 à 120 minutes. Il apparaît donc qu'il existe des différences sur le moment où débute la phase acinétique, selon les objets et les doses utilisées. Alberti et Politzer ont, d'ailleurs, fait remarquer, comme je l'ai rappelé plus haut, que pour un même objet (cornée de Salamandre) l'arrêt des mitoses se faisait à la septième heure chez les animaux maintenus dans de l'eau à 26°, alors qu'il se produisait à la dix-huitième heure chez des animaux maintenus dans de l'eau à 18°.

J'attirerai aussi l'attention sur le fait que, comme Strangeways et Oakley, dont les travaux ont été effectués sur des cultures de tissus, j'ai observé que l'action des rayons X se traduit, tout d'abord, par un ralentissement du nombre des cinèses et que les lésions des cellules en mitoses n'apparaissent qu'avec des doses plus élevées.

D'autre part, les troubles de la mitose que j'ai constatés au cours de la deuxième phase cinétique et qui aboutissent à la constitution des cellules à noyaux accessoires, méritent d'être rapprochés des résultats que Regaud et Blanc (172) ont obtenus en étudiant l'action tératogène des rayons X sur les cellules séminales. Ces auteurs disent en effet : « Les mitoses des cellules d'Ebner s'achèvent « fréquemment par une répartition inégale entre les deux noyaux « fils. Plus fréquemment encore, on voit des chromosomes aberrants, « chromosomes entiers, ou demi-chromosomes, qui ne rejoignent « pas les pôles du fuseau. La répartition inégale du matériel chroma- « tique produit l'inégalité des noyaux. L'absence de division du « cytoplasme produit les noyaux doubles. Les chromosomes aberrants « deviennent de tout petits noyaux satellites ». A part les noyaux doubles, dus à l'absence de division du cytoplasme, que je n'ai pas rencontrés, les faits que j'ai observés sont entièrement d'accord avec ceux que décrivent ces auteurs ; mais, si mes résultats et ceux d'Alberti et Politzer peuvent être étendus aux cellules sexuelles, les lésions signalées par Regaud et Blanc, ne sont pas celles que manifestent des cellules irradiées en mitose. Il est, dès lors, vraisemblable que les éléments, dans lesquels la répartition inégale de la chromatine a été constatée, sont des cellules appartenant à la seconde phase cinétique, c'est-à-dire sortant de la phase de repos ; elles n'ont pas été irradiées, alors qu'elles étaient en mitose.

La variété de la lésion pourrait ainsi permettre de savoir, si une cellule irradiée, dont la cinèse est troublée, a reçu les rayons X alors qu'elle était en division ou, au contraire, pendant le stade de repos. Dans le premier cas, elle présenterait les lésions caractéristiques de la première phase cinétique et, dans le second cas, celle de la deuxième phase cinétique.

Chapitre III

# ÉTUDE DE LA SENSIBILITÉ DES PLANTES A L'ACTION DES RAYONS X

L'étude de la sensibilité des êtres vivants à l'action des rayons X, celle des facteurs qui peuvent la modifier, la détermination des causes qui la conditionnent, constituent des recherches de toute importance pour la connaissance du mode d'action des rayons X. Elles présentent, en outre, un grand intérêt en thérapeutique, car elles sont à la base du mode d'application des rayons.

L'étude que j'ai entreprise sur les plantes, à ce sujet, a comporté l'examen des divers points de vue suivants :

I. — *Étude de la radiosensibilité proprement dite* :

A) *Pour une même plante* :

1° La dose lésante est-elle la même à toutes les périodes du développement?

2° Les diverses parties de la plante sont-elles également sensibles? Quelle est la sensibilité des réserves?

B) *Pour des plantes différentes* :

La sensibilité est-elle la même à une même période de développement?

II. — *Étude des facteurs intérieurs et extérieurs susceptibles de faire varier la radiosensibilité.*

III. — *Étude des causes de la sensibilité aux rayons X.*

## I. — ÉTUDE DE LA RADIOSENSIBILITÉ.

### A. — Étude des variations de la radiosensibilité d'une plante donnée

#### a) Variations de la radiosensibilité suivant le stade.

##### 1. — Historique.

Parmi les premiers expérimentateurs qui envisagèrent cette question, il faut citer Koernicke (106-108) et Schwarz (203) Ces auteurs remarquèrent que la même dose de rayons X lésait très

différemment les graines sèches gonflées et germées ; sans effet sur des semences sèches, l'irradiation, nuisible à des semences gonflées, l'était avec plus d'intensité encore pour des graines germées.

Corrélativement, sur les animaux, Perthes (159, 160, 161) nota que les cellules en voie de croissance se montraient particulièrement sensibles aux rayons X.

Sur les tissus animaux, Schwarz (201) parvint à diminuer la sensibilité de la peau en diminuant, par compression, l'irrigation sanguine. Schmidt (197) arriva à réaliser une compression telle qu'il fut obligé pour provoquer l'érythème, d'appliquer le double de la dose nécessaire d'ordinaire à cet effet.

De ces expériences est née la loi que la sensibilité des cellules aux rayons X est proportionnelle à l'intensité de leurs échanges. Les observations qui ultérieurement ont été effectuées sur les tissus humains et animaux ont quelque peu modifié cette loi.

D'après Bergonié et Tribondeau (36), les rayons X ont une action d'autant plus intense sur les cellules que :

1° Leur faculté reproductrice est plus grande ;

2° Qu'est plus long leur devenir caryocinétique ;

3° Que moins est fixée définitivement leur morphologie et leur fonctionnement.

Voltz (224) interprète cette loi physiologiquement ; il écrit : Une cellule est d'autant plus radiosensible :

1° Qu'est plus grand le travail qu'elle fournit lors de ses échanges ;

2° Qu'étant en division, elle use plus d'énergie ;

3° Que son énergie est moins définitivement fixée, c'est-à-dire qu'elle ait encore plus de travail à fournir pour arriver à son stade final.

En résumé, dit-il, une cellule est d'autant plus radiosensible qu'elle contient plus d'énergie cinétique. Elle est d'autant moins radiosensible qu'elle renferme plus d'énergie potentielle.

En ce qui concerne les végétaux, il est maintenant bien établi par les expériences de Koernicke, Schwarz, Jungling, Petry, Iven et moi-même que l'on observe de notables variations dans leur sensibilité au cours de leur développement. Les plantes, en voie d'accroissement, apparaissent comme plus sensibles à l'action des rayons que les végétaux maintenus en vie plus ou moins latente. Les graines sèches ne sont, en effet, lésées que par l'application de fortes doses, comme Petry (162) l'a montré le premier, alors que les graines gonflées et surtout germées sont tuées par des quantités

de rayons beaucoup plus faibles. Les essais des auteurs se sont en général limités à l'étude de la réaction aux rayons des semences sèches, gonflées et germées. Peu d'expériences ont été faites sur des germes à divers états de développement. Iven (96) signale toutefois que des plantes de 10 cm. de racine et de 3 cm. de tige se sont montrées moins sensibles que des graines, dont la radicule vient de percer le tégument. J'ai recherché sur Lens esculata quel était le stade de sensibilité maxima. J'ai pu mettre en évidence que l'effet lésant le plus fort se manifestait, pour une même dose, sur des germes de 10 mm. de longueur de racine.

### 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites sur des graines de haricots et de lentilles et selon deux techniques différentes :

α) *Techniques* :

*Technique I.* — De nombreuses graines sont mises en germination ; on en prélève à des stades différents et constitue ainsi des lots de 30 à 40 objets que l'on irradie avec une même dose. Les plantes sont ensuite cultivées toutes ensemble avec plusieurs lots témoins et mesurées après un même temps de culture. Les expériences sur les haricots et les deux premières expériences faites sur les lentilles ont été ainsi conduites.

*Technique II.* — Dans les autres essais effectués sur les lentilles, les mises en germination ont eu lieu, de telle sorte que tous les lots de plantes à différents stades aient pu être constitués en même temps. Ils ont ensuite été irradiés et mis en culture avec des lots témoins respectivement de même taille, chaque lot irradié étant ainsi accompagné de son lot témoin, avec lequel il sera comparé à la fin de l'expérience. Quatorze jours après l'action des rayons, j'ai déterminé l'accroissement de tous ces lots.

β) *Résultats* :

Les résultats des expériences figurent dans les Tableaux XX et XXI. Le Tableau XX résume les essais effectués sur les haricots. J'y ai mentionné le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, l'état de la graine au moment de l'irradiation, la dose de rayons appliquée, le jour de la mesure et la croissance des diverses parties de la plante, racines, radicelles, hypocotyles. L'accroissement est exprimé par rapport aux témoins, la longueur moyenne de ces derniers étant ramenée à 100. Le Tableau XXI résume les expériences effectuées sur les lentilles. Il renferme les mêmes données que le Tableau XX.

Toutefois les % de croissance ont été établis ici pour les racines, tiges, radicelles.

Je ferai observer qu'ici encore, il est nécessaire de n'effectuer des comparaisons qu'à l'intérieur d'une même expérience, les conditions d'irradiation ou de culture ayant parfois varié intentionnellement ou non d'une expérience à l'autre.

## TABLEAU XX

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jour de mesure | % de croissance (en mm.) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Racines | Radicelles | Hypocotyles | Racines et hypocotyles |
| 138 | 110 | sec | 50 | 10 | 96.8 | — | 79.0 | — |
| | | gonflé 24 h. | — | 10 | 67.6 | — | 60.6 | — |
| | | germé | — | 10 | 28.7 | — | 42.8 | — |
| 139 | 80 | sec | 60 | 4 | 101.7 | 89.3 | — | — |
| | | gonflé 15 h. | — | 4 | 36.6 | 0 | — | — |
| | | sec | — | 23 | 64.3 | 64.7 | — | — |
| | | gonflé 15 h. | — | 23 | 16.9 | 0.7 | — | — |
| 140 | 60 | sec | 30 | 4 | — | 70.5 | — | 90.3 |
| | | gonflé 16 h. | — | 4 | — | 0 | — | 79.3 |
| | | sec | — | 11 | — | 73.6 | — | 84.3 |
| | | gonflé 16 h. | — | 11 | — | 63.4 | — | 67.0 |
| 141 | 120 | sec | 40 | 5 | 96.1 | 25.0 | 84.0 | — |
| | | gonflé 6 h. | — | 5 | 63.8 | 15.8 | 76.0 | — |
| | | gonflé 23 h. | — | 5 | 59.7 | 5.5 | 84.0 | — |
| | | germé | — | 5 | 36.3 | 0 | 84.0 | — |
| | | sec | — | 12 | 71.4 | 90.2 | 109.9 | — |
| | | gonflé 6 h. | — | 12 | 40.6 | 38.3 | 60.0 | — |
| | | gonflé 23 h. | — | 12 | 19.2 | 3.9 | 30.0 | — |
| | | germé | — | 12 | 9.8 | 0 | 25.1 | — |
| 142 | 120 | sec | 33 | 20 | 88.7 | — | — | — |
| | | gonflé 15 h. | — | 20 | 77.8 | — | — | — |
| | | gonflé 24 h. | — | 20 | 74.0 | — | — | — |
| | | germé | — | 20 | 53.9 | — | — | — |

L'examen de ces Tableaux met en évidence un certain nombre de faits. On remarque, tout d'abord, que des graines sèches, gonflées et germées soumises à l'action d'une même dose de rayons se montrent très différemment lésées, les semences sèches sont peu touchées, les semences gonflées le sont davantage et les semences germées le

*

# TABLEAU XXI

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses | Jour de mesure | % de croissance (en mm.) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Racines | Tiges | Radicelles |
| 143 | 600 | sec | 40 H | 9 | 78.5 | — | — |
| | | gonflé 5 h. | | — | 42.0 | — | — |
| | | gonflé 23 h. | | — | 16.9 | — | — |
| | | germé 2 mm. | | — | 10.8 | — | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 9.1 | — | — |
| | | germé 20 mm. | | — | 14.5 | — | — |
| | | germé 40 mm. | | — | 54.2 | — | — |
| | | sec | | 14 | 81.7 | 96.4 | 74.6 |
| | | gonflé 5 h. | | — | 45.7 | 83.0 | 45.4 |
| | | gonflé 23 h. | | — | 10.1 | 21.5 | 0.2 |
| | | germé 2 mm. | | — | 6·0 | 15.6 | 0 |
| | | germé 10 mm. | | — | 4.4 | 18.4 | 0 |
| | | germé 20 mm. | | — | 6.1 | 29.6 | 0 |
| | | germé 40 mm. | | — | 23.1 | 61.3 | 0.15 |
| 144 | 250 | gonflé 26 h. | 5 H | 14 | 78.2 | 91.5 | — |
| | | germé 2 mm. | | — | 69.6 | 87.1 | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 30.2 | 50.2 | — |
| | | germé 30 mm. | | — | 72.9 | 89.5 | — |
| 145 | 300 | gonflé 26 h. | 10 H | 5 | 62.2 | 55.0 | — |
| | | germé 2 mm. | | — | 56.5 | 78.4 | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 25.9 | 71.5 | — |
| | | germé 20 mm. | | — | 33.7 | 79.3 | 0.7 |
| | | germé 30 mm. | | — | 59.7 | 78.1 | 6.2 |
| | | gonflé 26 h. | | 14 | 53.8 | 73.1 | 37.4 |
| | | germé 2 mm. | | — | 53.2 | 68.2 | 22.8 |
| | | germé 10 mm. | | — | 24.8 | 29.9 | 2.1 |
| | | germé 20 mm. | | — | 45.0 | 73.7 | 23.3 |
| | | germé 30 mm. | | — | 67.6 | 78.4 | 32.2 |
| 146 | 50 | germé 2 mm. | 8 H | 7 | 50.8 | 36.5 | 22.9 |
| | | germé 10 mm. | | — | 25.9 | 31.7 | 2.2 |
| 147 | 120 | germé 2 mm. | 450 R | 10 | 65.2 | 85.1 | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 39.1 | 53.2 | — |
| 148 | 190 | germé 1 mm. | 450 R | 14 | 62.4 | 75.2 | — |
| | | germé 9 mm. | | — | 19.3 | 32.9 | — |
| | | germé 15 mm. | | — | 29.3 | 39.9 | — |
| 149 | 120 | germé 2 mm. | 200 R | 10 | 92.3 | 102.0 | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 76.4 | 97.3 | — |
| | | germé 20 mm. | | — | 100.1 | 99.5 | — |
| 150 | 120 | germé 8 mm. | 450 R | 14 | 39.6 | 49.8 | — |
| | | germé 16 mm. | | — | 48.1 | 49.1 | — |
| 151 | 120 | germé 2 mm. | 450 R | 14 | 64.2 | 76.9 | — |
| | | germé 10 mm. | | — | 36.1 | 45.8 | — |
| 152 | 90 | germé 4 mm. | 400 R | 15 | 29.2 | 48.9 | — |
| | | germé 16 mm. | | — | 43.2 | 41.4 | — |
| 153 | 90 | germé 4 mm. | 200 R | 15 | 52.3 | 85.4 | — |
| | | germé 16 mm. | | — | 74.2 | 83.7 | — |
| 154 | 120 | germé 10 mm. | 450 R | 16 | 36.7 | 41.2 | — |
| | | germé 15 mm. | | — | 50.1 | 48.1 | — |
| 155 | 120 | germé 1 mm. | 450 R | 14 | 79.7 | 84.0 | — |
| | | germé 9 mm. | | — | 32.3 | 40.3 | — |
| | | germé 15 mm. | | — | 35.3 | 47.6 | — |
| 156 | 120 | germé 1 mm. | 450 R | 14 | 71.8 | 81.8 | — |
| | | germé 9 mm. | | — | 33.4 | 47.1 | — |
| | | germé 15 mm. | | — | 37.7 | 52.9 | — |
| 157 | 40 | germé 70 mm. | 700 R | 9 | 48.0 | 64.8 | — |

sont plus encore. Toutes les expériences réalisées sur les lentilles ou les haricots ont toujours mis ce fait en lumière (expériences 138, 141, 143). Il se traduit avec les mêmes différences d'intensité sur toutes les parties de la plante.

D'autre part, les expériences 141, 142, 143 montrent avec une netteté indiscutable que, plus le gonflement est intense, plus la croissance est diminuée ; la lésion est donc d'autant plus grande que le gonflement est plus prononcé. Il en résulte que la sensibilité des graines d'une même plante augmente avec le degré d'hydratation. Komuro (119), n'ayant pas remarqué ce fait, a été conduit à interpréter faussement une expérience d'irradiation intermittente. Il a raisonné, en effet, comme si la sensibilité était invariable au cours du gonflement. Mes expériences montrent qu'il en est tout autrement. Je reviendrai sur ce sujet au chapitre IV dans l'étude de la cumulation des doses.

En ce qui concerne les graines germées, les expériences que j'ai réalisées sur les lentilles mettent en évidence qu'à dose égale, l'effet maximum des rayons se manifeste sur les germes de 10 mm. de longueur de racine. Il apparaît donc que la sensibilité des lentilles augmente peu à peu jusqu'au stade où le germe atteint 10 mm. de longueur. Lorsque les plantes mesurent 20 ou 30 mm. de longueur de racine, l'irradiation influe à nouveau moins intensément sur la croissance. Il est cependant difficile d'affirmer que la sensibilité baisse à ce moment, car la lésion ne se manifestant à nous que par une diminution de l'activité cellulaire, il n'est possible de comparer entre eux que des éléments semblables ou tout au moins ayant à effectuer le même travail. Ainsi, il est justifié de dire que les germes venant de percer le tégument sont moins sensibles aux rayons que les germes longs de 10 mm. car les premiers auront à passer 18 à 24 heures plus tard par le même état d'activité cellulaire que les seconds. Pour les plantes de 20 mm., il n'en est plus de même ; la lésion peut être semblable à celle des germes irradiés à 10 mm., mais si le travail cellulaire est de moins grande intensité, la manifestation de la lésion peut également nous apparaître plus faiblement.

Quoi qu'il en soit, les expériences que j'ai réalisées démontrent clairement qu'il existe un optimum de sensibilité pour les lentilles de 10 mm. de longueur de racine, la tige étant encore à ce moment enclose dans les cotylédons.

Pour les haricots, je n'ai pu établir, avec certitude, un fait analogue, la plante se prêtant mal à des recherches de cet ordre ; les radicelles se forment, en effet, très tôt et en grand nombre ; les mesures deviennent alors difficiles à effectuer avec grande précision.

### b) Variations de la radiosensibilité des diverses parties de la plante.

Mes expériences ayant montré que la sensibilité d'un végétal aux rayons X pouvait varier notablement au cours du développement, j'ai recherché si les diverses parties de la plante étaient également sensibles, et s'il ne fallait pas localiser à un organe le point d'attaque des rayons X. J'ai par là même été conduite à envisager si l'irradiation des réserves contenues dans les cotylédons créait une lésion grave à la plante.

#### 1. — Technique.

Mes expériences ont été faites sur des lentilles de la manière suivante.

Des graines de lentilles sont mises en germination. Lorsqu'elles atteignent une longueur de tige et de racine suffisante, on constitue des lots formés de germes de même dimension. J'ai utilisé, à cet effet, selon les expériences, des objets de 12 à 55 mm. de racine et de 0 à 25 mm. de tige. Chaque lot est ensuite soumis à la même dose de rayons mais un peu différemment. Dans certains lots, en effet, les racines seules sont irradiées, dans d'autres, ce sont les tiges, dans d'autres enfin les cotylédons. Les parties non irradiées étaient soigneusement protégées par de petites lamelles de caoutchouc plombé. Enfin, pour permettre des comparaisons, j'ai, dans certaines expériences, soumis totalement la plante à l'action des rayons, c'est-à-dire que la racine, la tige et les cotylédons ont subi l'influence de l'irradiation.

#### 2. — Résultats.

Les expériences sont relatées dans le Tableau XXII. J'y ai mentionné le nombre d'objets utilisés dans les divers essais, la longueur de la racine et celle de la tige, au moment de l'irradiation, la dose de rayons, le jour de la mesure, et les organes irradiés dans les différents lots. Les dernières colonnes du Tableau indiquent les moyennes de longueur et les % de croissance des racines, tiges, radicelles des plantes à la fin des expériences.

Je signale que, dans les cas où j'ai inscrit une longueur de tige nulle, l'irradiation des cotylédons entraîne concurremment celle de la tige, puisque la tige est à ce stade enclose dans les cotylédons. En outre, je tiens à faire remarquer qu'aucun des lots de l'expérience 168 n'a été irradié ; certains d'entre eux ont été mutilés. Toutefois, j'ai placé cette expérience dans le Tableau, car l'effet

de la section des tiges est comparable à celui de certaines irradiations, sur lesquelles je vais revenir.

Les expériences que relate ce Tableau mettent en évidence un certain nombre de faits en ce qui concerne :

α) L'influence de l'irradiation des réserves sur le développement ultérieur de la plante ;

β) L'influence de l'irradiation des diverses parties de la plante sur le développement ultérieur du végétal.

α) *Influence de l'irradiation des réserves sur le développement ultérieur de la plante.*

Les expériences réalisées à ce sujet et relatées dans le Tableau XXII montrent, en effet, que :

*L'irradiation de la plante entière* (racine, tige, cotylédons), pour des stades où la tige a de 9 à 25 mm. de longueur et la racine de 25 à 55 mm. (expérience 162), donne sensiblement les mêmes moyennes de croissance qu'une irradiation atteignant seulement la tige et la racine, les cotylédons étant protégés par du caoutchouc plombé. Ce fait donne à penser que l'action des rayons est nulle ou à peu près nulle sur les cotylédons.

D'autre part, *l'irradiation des cotylédons seuls* pour des stades où la tige a de 9 à 25 mm. et la racine de 25 à 55 mm. (expériences 162, 164, 167, 161) fournit des moyennes et des % de croissance très élevés ; la lésion, si elle existe, ne se manifeste pas, car les chiffres d'accroissement obtenus sont compris dans les limites d'erreur des variations individuelles. Dans l'expérience 162 où la dose était de 13 H, les % de croissance sont un peu plus bas que dans les autres essais. Ceci est dû sans doute à ce que, dans cette expérience (l'une des premières de cette sorte), l'origine de la tige et celle de la racine n'ont pas été suffisamment protégés par le caoutchouc plombé. Ce fait est d'autant plus probable que, dans les expériences 167 et 164, où les doses étaient respectivement de 30 et de 70 H, la croissance a été très voisine de celle des témoins. On voit donc que l'application de quantités de rayons de plus en plus fortes ne se traduit pas par une plus grande manifestation de lésion, les % de croissance restant très sensiblement les mêmes.

Ces résultats montrent donc que l'irradiation des réserves n'influe pas sur le développement ultérieur de la plante.

β) *Influence de l'irradiation des diverses parties de la plante sur le développement ultérieur du végétal.*

Les expériences du Tableau XXII mettent en évidence les faits suivants :

## TABLEA

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des racines au moment de l'irradiation (en mm.) | Longueur des tiges au moment de l'irradiation (en mm.) | Doses (en H) | Jour de mesure | Organes irradiés |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 158 | 30 | 12 | 0 | 20<br>20<br>témoins | 11 | Racine<br>Cotylédons + tig |
| 159 | 40 | 12 | 0 | 10<br>10<br>10<br>témoins | 15 | Cotylédons + tig<br>Racine<br>Plante entière<br>— |
| 160 | 46 | 12 | 0 | 60<br>témoins | 10 | Cotylédons + tig<br>— |
| 161 | 30 | — | 10 | 20<br>20<br>20 | 11 | Racine<br>Cotylédons<br>Tige |
| 162 | 40 | 28 | 9 | 13<br>13<br>13<br>témoins | 14 | Cotylédons<br>Plante entière<br>Racine + tige |
| 163 | 30 | — | 10<br>20 | 20<br>20<br>témoins | 14 | Tige + cotylédon<br>Tige + cotylédon |
| 164 | 30 | 45 | 15 | 70<br>témoins | 6 | Cotylédons |
| 165 | 36 | — | 10 | 10<br>10<br>témoins | 10 | Racine<br>Tige + cotylédon |
| 166 | 48 | 18 | 0 | 20<br>20<br>20<br>témoins | 10 | Cotylédons + tig<br>Racine<br>Plante entière |
| 167 | 50 | 55 | 25 | 30<br>30<br>30<br>30<br>témoins | 6 | Tige<br>Racine<br>Cotylédons<br>Plante entière |
| 168 | 80 | — | 10 à 15 | section<br>de tige<br>témoins | 6<br>— | — |
| | | | 15 à 20 | section<br>de tige<br>témoins | — | |

# XXII

| Racines | | Tiges | | Radicelles | |
|---|---|---|---|---|---|
| Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 21.7 | 34.1 | 44 | 87.2 | 97.1 | 40.0 |
| 70.4 | 110.7 | 40.6 | 80.5 | 109.3 | 45.0 |
| 63.5 | 100 | 50.4 | 100 | 242.5 | 100 |
| 131.7 | 89.4 | 72.8 | 61.1 | 186.8 | 35.8 |
| 25.3 | 17.1 | 149.6 | 101.7 | 307.4 | 58.9 |
| 32.1 | 21.8 | 50.0 | 42.6 | 20.5 | 3.9 |
| 147.2 | 100 | 117.5 | 100 | 521.2 | 100 |
| 88.3 | 84.5 | 16.1 | 20.2 | 17.9 | 7.4 |
| 104.3 | 100 | 79.8 | 100 | 241.5 | 100 |
| 43.8 | — | 106.8 | — | 250.7 | — |
| 99.1 | — | 109.5 | — | 333.1 | — |
| 99.8 | — | 40.8 | — | 168.1 | — |
| 116.1 | 84.3 | 99.5 | 89.6 | 382.4 | 73.1 |
| 44.0 | 31.9 | 40.3 | 36.3 | 0 | 0 |
| 41.4 | 30.1 | 36.0 | 32.4 | 0 | 0 |
| 137.6 | 100 | 111.0 | 100 | 522.8 | 100 |
| 155.2 | 94.0 | 47.5 | 37.0 | 118.3 | 20.9 |
| 156.1 | 94.5 | 66.5 | 51.9 | 173.0 | 30.6 |
| 165.1 | 100 | 128.1 | 100 | 565.0 | 100 |
| 142.9 | 96.4 | 83.9 | 97.5 | 207.2 | 88.9 |
| 148.2 | 100 | 86.0 | 100 | 232.9 | 100 |
| 59.1 | 47.1 | 80.1 | 93.9 | 58.9 | 19.3 |
| 115.3 | 91.8 | 44.8 | 52.4 | 94.7 | 31.0 |
| 125.5 | 100 | 85.5 | 100 | 305.0 | — |
| 109.6 | 74.2 | 19.0 | 23.4 | 10.1 | 3.1 |
| 17.4 | 11.7 | 81.1 | 84.4 | 225.6 | 70.9 |
| 17.5 | 11.8 | 15.7 | 16.4 | 0 | 0 |
| 147.6 | 100 | 96.1 | 100 | 317.9 | 100 |
| 122.8 | 93.4 | 52.1 | 55.7 | 135.8 | 47.2 |
| 60.3 | 45.1 | 88.1 | 94.2 | 268.6 | 93.4 |
| 131.0 | 99.7 | 91.8 | 98.1 | 275.0 | 95.6 |
| 60.6 | 46.1 | 40.4 | 43.2 | 0.8 | 0.3 |
| 131.3 | 100 | 93.5 | 100 | 287.5 | 100 |
| 110.4 | 90.8 | — | — | 41.7 | 16.2 |
| 121.5 | 100 | — | — | 256.5 | 100 |
| 116.1 | 96.7 | — | — | 152.6 | 45.4 |
| 120.0 | 100 | — | — | 335.9 | 100 |

1° *L'irradiation de la racine seule* lèse la racine, influe peu ou point sur la tige, mais retentit plus ou moins sur la croissance des radicelles suivant le stade de la plante irradiée (expériences 158, 159, 161, 165, 167).

2° *L'irradiation de la tige seule* influe peu ou point sur le développement de la racine, mais elle diminue la croissance de la tige et très nettement celle des radicelles (expériences 161, 167). Cette lésion de la tige retentissant si manifestement sur le développement des radicelles se montre également dans d'autres lésions que celle produite par l'irradiation. Ainsi, si l'on coupe les tiges de lentilles ayant 10 à 15 mm. ou 15 à 20 mm. de longueur (expérience 168), on constate que la croissance des radicelles est fortement amoindrie.

3° *L'irradiation de la tige et celle des cotylédons* donne les mêmes résultats que celle de la tige seule et cela aussi bien quand la tige est enfermée dans les cotylédons (expériences 158, 159, 160, 166) que lorsqu'elle en est sortie (expériences 163, 165). Ce dernier fait tend donc à montrer que, à des stades jeunes, alors que la tige est encore enclose dans les cotylédons, l'irradiation des réserves n'a pas plus d'influence nocive sur le développement de la plante que lorsqu'elle est pratiquée sur des germes de 10 à 25 mm. de longueur de tige, comme je l'ai fait remarquer plus haut.

Les résultats de ces expériences conduisent à la conclusion que la tige et la racine sont des organes sensibles à l'action des rayons X, alors que l'irradiation des cotylédons n'entraîne, aux fortes doses que j'ai employées (70 H), aucune manifestation évidente de lésion de la plante.

*Il en résulte que, chez les lentilles, le retard d'accroissement des germes irradiés en voie de développement n'est pas dû à l'action des rayons X sur les réserves mais seulement aux lésions que ces rayons déterminent dans les cellules de la plante.*

### B. — Étude des variations de radiosensibilité de plantes différentes

C'est un fait actuellement bien connu que la sensibilité de plantes différentes à une même période de développement est extrêmement variable.

Koernicke (107) l'a signalé le premier. Il observa, en effet, que des graines de Vicia faba et de Brassica napus irradiées avec une même dose de rayons se montrèrent très différemment lésées. Vicia faba était arrêtée dans sa croissance alors que Brassica napus ne l'était nullement.

En 1910, Guilleminot (74) remarqua également que les doses d'irradiation nocives variaient suivant les graines.

Petry, en 1922 (163), note que le cresson réagit à peine à des doses, dont la dixième partie lèse profondément des Graminées (60 à 75 H). L'auteur signale que les relations de famille ne sont pas déterminantes de la sensibilité, le seigle étant, par exemple, beaucoup plus sensible aux rayons que toute autre Graminée ; sa sensibilité se rapproche, en effet, de celle de la lentille (Légumineuse).

Jungling (103), en 1924, constate que la sensibilité de Vicia faba est trois fois plus grande que celle du pois.

Iven, en 1925 (96), écrit : « Plus les semences irradiées sont « petites, plus la sensibilité est faible, les plantes à petites graines « sont donc moins sensibles que les autres ».

Bolaffio (37), sur huit espèces de Légumineuses, a trouvé des sensibilités très différentes. Il observa aussi une insensibilité plus marquée pour de petites graines. Cependant, il ajoute que ce ne peut être une loi, car le pois peu différent par sa taille du haricot, est beaucoup plus sensible que lui.

Les expériences que j'ai réalisées ont mis en évidence que la sensibilité du haricot était très différente de celle de la lentille. Une dose de 50 à 60 H tue rapidement un haricot germé, alors qu'il ne faut environ que 10 H pour produire la même réaction chez une lentille comme le montre les Tableaux XII, XIII, XIV, XV du chapitre II et les Tableaux de ce chapitre.

## II. — ÉTUDE DES FACTEURS SUSCEPTIBLES DE FAIRE VARIER LA RADIOSENSIBILITÉ DES PLANTES AUX RAYONS X.

La sensibilité d'une plante aux rayons X est, comme nous venons de le voir, soumise à des variations. Les facteurs susceptibles de la modifier peuvent être de deux ordres, soit intérieurs, c'est-à-dire relatifs à la plante elle-même, soit extérieurs, c'est-à-dire indépendants de la plante.

### A. — Influence des facteurs d'ordre intérieur sur la radiosensibilité de la plante.

Deux facteurs modifient notablement la sensibilité d'un végétal aux rayons X. Ce sont l'état d'hydratation de la plante et son état de développement. En ce qui concerne les graines, les expériences que j'ai réalisées, décrites dans les Tableaux XX et XXI, le montrent

nettement. On constate, en effet, d'une part, que, plus la graine est gonflée, plus elle est sensible, d'autre part, que des lentilles irradiées au début de la germination sont moins lésées par les rayons que des lentilles, dont la radicule atteint 10 mm. de long. Ces deux facteurs ont donc sur la sensibilité une importance considérable.

Trois autres facteurs peuvent être envisagés. Ce sont :

1° L'influence de la plus ou moins grande épaisseur de la couche cellulosique ;

2° La présence de chlorophylle ;

3° L'action de la plus ou moins grande quantité de mitoses

### a) Influence de l'épaisseur de la couche cellulosique.

J'ai recherché si la plus ou moins grande épaisseur de cellulose était susceptible d'influencer la sensibilité d'une plante. On peut concevoir, en effet, qu'une enveloppe plus ou moins épaisse de cellulose protège plus ou moins efficacement la cellule contre l'action des rayons. A cet effet, j'ai, dans une même expérience (expérience 169), irradié 80 lentilles de 9 mm. de longueur de racine avec une dose commune de 12 H, les unes sans filtre, les autres avec filtre de cellulose de 1 mm. d'épaisseur, d'autres enfin avec filtre d'aluminium de 1 mm. d'épaisseur. Les mesures de croissance, effectuées 15 jours après l'irradiation, ont montré que :

La croissance moyenne des racines a été pour le lot témoin de 102, 1 mm. ; de 17,9 mm. pour le lot irradié sans filtre ; de 18,5 mm. pour le lot irradié avec filtre de cellulose et de 51,5 mm. pour les lentilles soumises aux rayons à travers filtre d'aluminium.

La croissance moyenne des tiges a été pour le lot témoin de 77,5 mm. ; de 18,8 mm pour les plantes irradiées sans filtre ; de 19,5 mm. pour le lot irradié avec filtre de cellulose et de 50,8 mm. pour le lot irradié avec filtre d'aluminium.

La croissance moyenne des radicelles, de 200 mm. pour les témoins, a été nulle pour les plantes irradiées sans filtre ; de 0,3 mm. pour le lot soumis aux rayons à travers filtre de cellulose, tandis qu'elle a été de 28,7 mm. pour les plantes irradiées avec filtre d'aluminium.

On voit donc que ces deux lots de plantes irradiées, soit avec filtre de cellulose, soit sans filtre, se sont montrés semblablement lésés, alors que les lentilles soumises aux rayons à travers le filtre d'aluminium ont été moins touchées. Ces résultats conduisent à penser que la plus ou moins grande épaisseur de la couche cellulosique n'influence pas la sensibilité d'une plante aux rayons de 0,13 à 0,25 U. Å.

### b) Influence de la présence de la chlorophylle.

Loeb (136) signale que certaines activités physiologiques peuvent augmenter la résistance à l'irradiation. Il indique, à ce point de vue, que Welcok et Packard ont remarqué que les algues ou les animaux contenant de la chlorophylle montraient plus de résistance à une irradiation faite à la lumière qu'à l'obscurité.

J'ai recherché si des plantes cultivées à l'obscurité seraient plus sensibles aux rayons X que des plantes cultivées à la lumière.

J'ai réalisé l'expérience suivante : **(expérience 170).**

40 graines de lentilles mises ensemble en germination sont cultivées les unes à la lumière, les autres à l'obscurité. Lorsque les tiges ont atteint 15 mm. de hauteur, on en forme 4 lots ; deux d'entre eux renferment des plantes ayant poussé à l'obscurité, un lot irradié et un lot témoin ; les deux autres sont constitués par des germes ayant crû à la lumière, un lot est irradié, l'autre sert de témoin. Les plantes soumises ensemble à une même dose de 30 H sont cultivées ensuite dans les mêmes conditions à la lumière ainsi que les plantes témoins. Après un certain nombre de jours d'évolution, on mesure la taille des tiges. Les résultats ont été les suivants :

Mesure I, faite 5 jours après irradiation : longueur moyenne des tiges (en mm.) : lot irradié après séjour à la lumière : 40,2 ; lot irradié après séjour à l'obscurité : 40,0.

Mesure II, faite 8 jours après irradiation : longueur moyenne des tiges (en mm.) : lot irradié après séjour à la lumière : 41,2 ; lot irradié après séjour à l'obscurité : 42,2 ; lot témoin ayant toujours séjourné à la lumière : 119,6 ; lot témoin ayant séjourné à l'obscurité : 117 5.

On voit, dans cette expérience, que les moyennes de longueur des tiges des deux lots témoins sont très voisines. De même, la croissance des tiges des plantes irradiées après culture à l'obscurité ou à la lumière est sensiblement la même.

Cette expérience me semblant démonstrative et cette recherche n'étant pas d'un intérêt particulier dans l'étude de l'action des rayons que je poursuis, je me suis limitée à cet essai. Il apparaît donc que les plantes irradiées à l'obscurité, étiolées, jaunes pâle, n'ont pas été plus lésées que les lentilles irradiées à la lumière présentant des tiges bien vertes. La présence de chlorophylle, abondante dans le deuxième cas, n'a donc pas augmenté la résistance des plantes à l'irradiation. Je conclurai donc que la chlorophylle ne m'apparaît pas comme un facteur susceptible de modifier la sensibilité d'une plante aux rayons X.

### c) Influence de la mitose.

La plupart des auteurs qui ont étudié l'action biologique des rayons X admettent qu'elle s'exerce surtout sur la chromatine, et que les cellules en voie de division possèdent une plus grande sensibilité que les cellules au repos. Cette opinion paraît surtout basée sur les études cytologiques de Koernicke, effectuée sur des plantes, et les travaux de Regaud et Blanc sur les tissus animaux. Comme je l'ai signalé au chapitre II, Koernicke a observé que, lorsqu'un temps suffisant s'est écoulé, pour que l'arrêt de croissance des racines soit réalisé, on voit alors « apparaître des « figures particulières qui font croire à une influence spéciale de « l'irradiation sur la chromatine ; on trouve des fuseaux dans lesquels « les chromosomes ne se superposent que difficilement les uns aux « autres, de sorte que leur attraction vers les ébauches des noyaux « fils est retardée. La partie cytoplasmique des fuseaux est tout à fait « normale ».

D'autre part, Regaud et Blanc (173), en 1906, expérimentant sur le testicule du Rat blanc, concluent que les cellules en mitose sont plus sensibles aux irradiations que les cellules au repos. Cette conclusion est basée sur le fait que l'examen microscopique du testicule irradié présente des lésions des cellules en division, tandis qu'il n'en montre pas dans les cellules au repos. La méthode de Regaud et Blanc consiste donc à irradier un organe, puis à examiner ensuite au microscope les lésions manifestées par les éléments irradiés ; les cellules qui apparaissent les plus lésées sont dites les plus radiosensibles. Pour Ancel et Vintemberger, cette conclusion n'est pas justifiée, elle peut être exacte, mais n'est pas démontrée. L'examen histologique direct ne permet d'observer que les lésions des cellules en activité, car seules elles manifestent leur lésion, les cellules au repos ne la manifestent pas et le microscope ne décèle rien. Il est donc impossible de comparer les deux lésions produites et d'attribuer, à l'aide de cette méthode, une plus grande radiosensibilité aux cellules en activité. Ancel et Vintemberger (7, 9, 11, 12, 14) ont émis cette critique après avoir réalisé un certain nombre d'expériences dont je rappellerai l'une d'elles : Sur un œuf de Poule non incubé, qui a passé, après la ponte, 24 heures à la chambre froide et dont les cellules ont été ainsi mises au repos, on applique une dose de 30 H et on le replace dans la chambre froide. Examiné microscopiquement trois jours plus tard, le blastoderme de cet œuf ne montre aucune lésion ; on en devrait conclure, d'après la méthode des examens histologiques directs, que ses cellules sont insensibles aux rayons X.

Si, recommençant la même expérience dans les mêmes conditions, on place, après l'irradiation, l'œuf à la couveuse, on observe, 3 jours plus tard, des lésions considérables ; il apparaît donc que ces cellules sont sensibles aux rayons X. Ces deux conclusions sont contradictoires ; or, comme les cellules expérimentées sont les mêmes, le raisonnement est donc inexact.

Beaucoup d'auteurs ont, à la suite de Regaud, employé cette méthode pour étudier l'action biologique des radiations sans paraître se rendre compte qu'elle n'autorise aucune conclusion ferme. On doit lui préférer celle qui consiste à placer les cellules dans des conditions telles qu'elles puissent manifester leur radiolésion et employer pour ce faire des objets susceptibles de permettre cette expérimentation. En ce qui concerne la recherche de la plus ou moins grande sensibilité de la mitose, il faut encore aller plus loin. Seules peuvent être démonstratives les expériences qui sont faites sur des cellules identiques à des moments différents de repos ou de division, et qu'est parfaitement connu l'état, dans lequel se trouve la cellule au moment de l'irradiation. Ainsi, on admet que, chez les plantes, les méristèmes ou tissus en voie de division active sont plus sensibles aux rayons que les autres tissus plus ou moins quiescents; ce fait n'est pourtant pas démontré. Il est certain cependant que l'irradiation de la pointe de la racine, par exemple, retentit sur la croissance ultérieure de cet organe beaucoup plus qu'une irradiation faite sur le reste de la racine, comme je m'en suis assurée dans **l'expérience 171.** Douze oignons, ayant des racines mesurant 70 mm. de longueur, sont divisés en trois lots ; un lot sert de témoin ; dans un deuxième lot, les pointes seules des racines sont irradiées sur une longueur de 30 mm., le reste des racines et les bulbes étant protégés par du caoutchouc plombé ; dans un troisième lot, les pointes et les bulbes étant protégés, on soumet aux rayons les 40 mm. de racine restant à nu. La dose de rayons appliquée à toutes ces plantes a été de 15 H. J'ai mesuré les 1er, 2e, 3e, 4e, 5e, 7e et 8e jour après l'irradiation l'accroissement en longueur des racines des 3 lots.

La croissance des oignons irradiés, comparée à celle des témoins, a donné les résultats suivants :

1° Pour-cents de croissance du lot irradié sur la pointe de la racine 1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8 jours après l'irradiation : 110, 7 ; 25,8 ; 12 ; 0,06 ; 0 ; 0 ; 0.

2° Pour-cents de croissance du lot irradié sur la partie supérieure de la racine, la pointe étant protégée ; 1, 2, 3, 4, 5, 7 et 8 jours après l'irradiation : 96,8 ; 88,8 ; 64,7 ; 43,8 ; 50,9 ; 30,8 ; 31,9.

On voit dans cette expérience que l'irradiation de la pointe de la racine est suivie d'un arrêt total du développement, 4 jours après l'action des rayons, alors que, faite sur la partie supérieure de la racine, l'irradiation ne produit, dans les 8 jours suivants, qu'un ralentissement de croissance ; on est tenté de conclure que la pointe de la racine, en cinèse active, est plus radiosensible que le reste de la racine, et, cependant, cette conclusion est injustifiée, car les radiolésions peuvent être semblables et les manifestations différer d'intensité. Le test de lésion pris dans cette expérience est l'accroissement, or c'est par la pointe que s'effectue la croissance de la racine. Il est donc logique de penser que l'irradiation de la pointe crée une lésion, qui se manifeste directement et activement par une cessation d'accroissement. Par contre, le ralentissement de croissance, observé après irradiation de la partie supérieure de la racine, peut s'expliquer par l'entrave apportée au fonctionnement des cellules de la pointe par la lésion des cellules situées au-dessus. Dans ces conditions, le test de réaction choisi ne permet pas de comparer les deux lésions puisqu'il ne peut les évaluer à une commune mesure.

Ces considérations montrent que la connaissance de la plus ou moins grande radiosensibilité de la cellule en mitose ne peut être établie avec certitude que sur des cellules manifestant semblablement leur lésion.

La réalisation de cette condition peut s'obtenir en expérimentant sur une même cellule au repos ou en activité. Les plantes, les organes, les tissus ou les organismes complexes ne constituent donc pas des objets d'études, susceptibles d'apporter la solution définitive.

Des résultats précis ont été obtenus sur des œufs par Holthusen et Vintemberger.

Holthusen (85) a irradié des œufs d'Ascaris aux diverses périodes de la première mitose de segmentation. Sa technique consistait à placer les œufs, après irradiation, dans les conditions nécessaires à leur développement, pendant 48 heures, et à établir ensuite le % d'animaux normaux, retardés et arrêtés dans leur croissance. Holthusen a vu que, dans ces conditions, la sensibilité variait au cours de la mitose, et qu'elle était maxima au stade de la plaque équatoriale.

Les expériences d'Holthusen n'ont pu être conduites avec certitude sur l'œuf d'Ascaris au delà de la première mitose de segmentation, car il y a, dans la suite, mélange des stades résultant des différences individuelles, dans la vitesse du développement des œufs.

Les résultats de Vintemberger (220-221) sur l'œuf de Gre-

nouille rousse sont d'une très grande précision. « Cet objet permet « d'obtenir, en prenant certaines précautions, des lots, dans lesquels « tous les œufs se développent exactement avec la même vitesse jus- « qu'à une période avancée du développement ; d'où la possibilité « de connaître avec la plus grande précision le stade d'irradiation « par fixation d'œufs témoins suivie de coupes en série et d'expéri- « menter sur les trois premières divisions de segmentation, au cours « desquelles les mitoses se maintiennent sensiblement synchrones « dans les différents blastomères d'un même œuf. La technique con- « siste, après avoir irradié les œufs, à les laisser se développer, puis à « déterminer le nombre d'œufs morts dans tous les lots, lorsque « tous les œufs du lot le plus touché sont morts. La comparaison des « résultats a montré que la radiosensibilité de l'œuf de Rana fusca, au « début de la segmentation passe par sa valeur minimum pendant « l'intervalle, où, entre deux mitoses successives, le noyau prend la « structure dite de repos. Elle augmente ensuite graduellement au « cours de la prophase, puis de la métaphase et de l'anaphase, à la « fin de laquelle elle atteint sa valeur maximum, où elle se maintient « pendant la télophase. A la fin de cette période, elle retombe brus- « quement à sa valeur minimum ».

Vintemberger conclut : « Ces résultats confirment donc l'opi- « nion classique en ce sens que la radiosensibilité est plus élevée « pendant la caryocinèse que pendant la période intermitosique, « au cours de laquelle le noyau prend la structure dite de repos ; « ils établissent d'une façon précise le degré relatif de radiosensi- « bilité des diverses phases de la mitose. Ils s'opposent, sur ce point, « à la conception, d'après laquelle le stade de la plaque équatoriale « serait un stade de sensibilité maximum ».

On voit que seuls les résultats d'Holthusen et plus particulièrement ceux de Vintemberger établissent avec certitude la plus grande radiosenbilité de la cellule en mitose.

Toutefois cette conclusion, valable pour les œufs, ne l'est pas a priori pour les tissus animaux et végétaux. En ce qui concerne ces derniers, les observations cytologiques, que j'ai faites et que j'ai relatées, au chapitre II, tendraient plutôt à faire croire à une lésion primitive des cellules au repos. J'ai pu constater, en effet, qu'après une irradiation, on observe, tout d'abord, une diminution du nombre des mitoses, alors que rien d'anormal ne se remarque dans les diverses phases caryocinétiques ; les anomalies de division n'apparaissent que plus tard. Au surplus, après l'action des faibles doses, 100 R par exemple, apparaît une diminution nette du nombre des mitoses,

et la division cellulaire continue à s'effectuer normalement. On pourrait penser que les cellules au repos sont les plus atteintes, puisqu'elles n'entrent pas en division, alors que les cellules en caryocinèse achèvent normalement de mitoser. Toutefois, je me garderai bien d'émettre une semblable conclusion, car, ici encore, les lésions ne sont pas évaluées à une commune mesure ; l'examen histologique direct ne peut déceler, dans ce cas, que la lésion des cellules au repos, alors qu'il n'indique rien quant à celle des cellules en mitose. Ne pouvant me placer dans les conditions expérimentales nécessaires à une comparaison rationnelle, je ne donnerai pas de conclusion à ce sujet. Il est, en effet, impossible, dans l'état actuel de nos connaissances, d'apporter une contribution valable sur la sensibilité comparée des cellules au repos et des cellules en caryocinèse par des expériences effectuées sur des tissus.

B. — Influence des facteurs d'ordre extérieur sur la radiosensibilité de la plante.

J'ai, dans cette recherche, étudié l'action des facteurs suivants : la température et les agents chimiques.

### a) Influence de la température.

#### 1. — Historique.

Cette étude a été entreprise par un certain nombre d'auteurs sur des cellules de diverses natures.

Voltz (224) signale que C. Muller, le premier, aurait obtenu une augmentation de la radiosensibilité des tissus tumoraux en les soumettant à l'action préalable de courants à haute fréquence. D'après l'auteur, la sensibilité aux rayons X serait augmentée chez les fiévreux.

Bering et Meyer (35) ont étudié, sur des tissus animaux, l'effet de la chaleur avant et après irradiation. Ils ont trouvé que seule la thermopénétration ayant précédé l'irradiation renforçait l'action des rayons.

Holthusen (85), en 1921, a recherché quelle était l'influence des différences de température sur la radiosensibilité des œufs d'Ascaris ; il les plaçait en anoxybiose, afin d'éviter des variations, dans la division cellulaire, susceptibles d'introduire une cause d'erreur dans l'évaluation de la sensibilité. Dans ces conditions, des œufs irradiés à 12° ont donné 84 % de vers normaux, 9 % de retardés et 7 % d'arrêtés dans leur croissance. D'autres œufs, irradiés à 22°, ont fourni 67 % de vers normaux, 16 % de retardés et 17 % d'arrêtés dans leur

croissance. Holthusen évalue la lésion relative à 1,0 pour les œufs soumis à l'action des rayons à 12° et à 1,5 pour les œufs irradiés à 22°.

Ces résultats ont été confirmées par Dognon (60) sur le même objet. Ces auteurs admettent donc une légère augmentation de sensibilité pour une élévation de température de 10°.

Jungling (103), expérimentant sur Vicia faba, a obtenu une lésion plus grande chez des germes irradiés à 0° que chez d'autres soumis à l'action des rayons à 25°. L'augmentation de sensibilité, causée par le froid, serait de 20 à 25 %.

Petry (162), en 1921, a irradié des germes de blé placés à des températures de 4°, d'une part, et de 30 à 35°, d'autre part. La croissance a été de 17 %, chez les plantes irradiées au froid, et de 14,7 %, pour celles irradiées à chaud. L'auteur en conclut que la température, au moment de l'irradiation, ne modifie pas la radiosensibilité.

Voltz (225), en 1922, écrit, au contraire, en s'appuyant sur des expériences, qu'il ne détaille pas : De deux séries de plantes, l'une cultivée à l'étuve à une température élevée depuis la germination, l'autre placée à la température habituelle de la chambre, ce sont les plantes maintenues à une température élevée qui se montrent le plus radiosensibles.

On voit donc que, en ce qui concerne les végétaux, toutes les opinions ont été soutenues ; pour Jungling, le froid rend les plantes plus radiosensibles. Voltz soutient, au contraire, que la chaleur augmente la sensibilité aux rayons. Quant à Petry, il admet que ni la chaleur ni le froid ne la modifie.

Les expériences que j'ai réalisées et publiées en 1927 et que je décris ci-dessous, n'ont montré aucune influence nette de la température sur la radiosensibilité des germes de lentilles (26).

### 2. — Recherches personnelles.

Les recherches que j'ai entreprises ont été faites sur des germes de lentilles de 2 à 15 mm. de longueur de racine. Les expériences étaient constituées de la manière suivante : Après avoir mis de nombreuses lentilles en germination, j'ai choisi parmi elles des germes ayant exactement la même longueur de radicule; ils ont ensuite été divisés en quatre lots de 30 à 40 objets suivant les cas. Deux de ces lots ont été placés à la glacière ou sur de la glace, la température variant de 2° à 8° suivant les expériences ; ils y ont été maintenus 30 à 180 minutes, suivant les cas. De ces deux lots, l'un a servi de témoin, l'autre a été irradié. Les deux lots restants ont été placés sur

*

**TABLEA**

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Température au moment de l'irradiation | Durée du séjour dans la température d'irradiation (en minutes) |
|---|---|---|---|---|---|
| 172 | 120 | 3 | 11 | 18° | — |
| | | | | 18° | — |
| | | | | 8° | 20 |
| | | | | 8° | — |
| 173 | 120 | 10 | 6 | 22° | 30 |
| | | | | 22° | — |
| | | | | 8° | 30 |
| | | | | 8° | — |
| 174 | 120 | 8 | 10 | 24° | — |
| | | | | 24° | — |
| | | | | 5° | 120 |
| | | | | 5° | — |
| 175 | 120 | 2 | 15 | 24° | 180 |
| | | | | 24° | — |
| | | | | 2° | 180 |
| | | | | 2° | — |
| 176 | 240 | 2 | 13 | 28° | 60 |
| | | | | 28° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |
| 177 | 160 | 2 | 13 | 25° | 90 |
| | | | | 25° | 90 |
| | | | | 5° | 90 |
| | | | | 5° | 90 |
| | 160 | 6 | 13 | 25° | 60 |
| | | | | 25° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |
| 178 | 120 | 15 | 13 | 27° | 60 |
| | | | | 27° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |
| | | | | 5° | 60 |

une platine chauffante réglée entre 25° et 28° pendant un temps identique à celui du séjour des plantes au froid ; un lot a été irradié, l'autre a servi de témoin. Après l'irradiation, toutes les plantes ont été cultivées ensemble dans les mêmes conditions, puis mesurées dans la quinzaine suivante. J'ai calculé ensuite la moyenne de croissance des divers lots ainsi que le pourcentage de croissance des irradiés par rapport aux témoins. J'ai, dans le Tableau XXIII, résumé les expériences réalisées et les résultats obtenus. J'ai mentionné le nombre d'objets compris dans une expérience, la longueur du germe au moment de l'irradiation, le jour de la mesure, la température au moment

XXIII

| Doses | Racines | | Tiges | |
|---|---|---|---|---|
| | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 15 H | 12.1 | 8.8 | 14.5 | 15.3 |
| témoins | 135.0 | 100 | 93.5 | 100 |
| 15 H | 12.6 | 9.2 | 13.5 | 14.3 |
| témoins | 136.5 | 100 | 94.0 | 100 |
| 7 H | 32.7 | 29.7 | 50.9 | 52.4 |
| témoins | 110 | 100 | 97.0 | 100 |
| 7 H | 31.1 | 27.7 | 47.2 | 49.1 |
| témoins | 112.0 | 100 | 96.0 | 100 |
| 9 H | 16.6 | 15.8 | 17.5 | 18.6 |
| témoins | 104.8 | 100 | 93.9 | 100 |
| 9 H | 18.2 | 17.2 | 16.6 | 19.4 |
| témoins | 106.0 | 100 | 85.1 | 100 |
| 10 H | 70.6 | 42.6 | 52.8 | 49.3 |
| témoirs | 165.6 | 100 | 107.2 | 100 |
| 10 H | 54.4 | 34.6 | 43.3 | 40.3 |
| témoins | 157.1 | 100 | 107.5 | 100 |
| 600 R | 87.7 | 66.0 | 99.1 | 78.4 |
| témoins | 132.1 | 100 | 126.3 | 100 |
| 600 R | 79.2 | 58.9 | 99.5 | 74.6 |
| témoins | 134.4 | 100 | 133.4 | 100 |
| 450 R | 106.8 | 75.9 | 85.1 | 87.6 |
| témoins | 140.7 | 100 | 97.1 | 100 |
| 600 R | 98.3 | 75.2 | 81.4 | 91.7 |
| témoins | 130.6 | 100.0 | 88.5 | 100 |
| 450 R | 39.3 | 25.9 | — | — |
| témoins | 151.2 | 100 | — | — |
| 450 R | 46.7 | 32.4 | — | — |
| témoins | 144.1 | 100 | — | — |
| 600 R | 30.1 | 20.3 | 31.9 | 30.4 |
| témoins | 148.2 | 100 | 104.9 | 100 |
| 600 R | 35.5 | 24.6 | 30.5 | 27.5 |
| témoins | 143.8 | 100 | 110.8 | 100 |

de l'irradiation, la durée du séjour dans cette dernière avant l'action des rayons, la dose de rayons appliquée, et, pour chaque lot, la moyenne et le % de croissance de la racine et de la tige.

L'examen des expériences que renferme le Tableau XXIII ne permet de saisir aucune influence de la température sur la radiosensibilité des germes de lentilles. On remarque, en effet, que :

1° Les différences de croissance manifestées par les divers lots irradiés au froid ou à la chaleur sont de faible intensité. Il est même des essais où l'accroissement des deux lots est extrêmement voisin. Ainsi, dans l'expérience 177, les % de croissance des racines irradiées

sont de 75,9, pour les lentilles irradiées à 25°, et de 75,2 pour celles soumises aux rayons à une température de 5°.

2° D'autre part, les différences d'accroissement existant entre les lots soumis aux rayons sont, tantôt en faveur des lentilles irradiées à chaud (expériences 173, 175, 176), tantôt en faveur des plantes irradiées à froid (expériences 174, 177 *bis*). Il est même des expériences (172, 178), où la croissance est meilleure pour la racine chez des plantes irradiées à froid, alors que pour la tige c'est, au contraire, l'accroissement des plantes irradiées à chaud qui se montre le plus grand. Il est évident que ces variations sont indépendantes des températures, auxquelles les graines étaient soumises au moment de l'irradiation. Si la température avait une action sur la radiosensibilité, elle se serait traduite régulièrement, dans toutes les expériences, par des différences d'accroissement de même sens et, dès lors, nettement appréciables ; la sensibilité des lentilles aux rayons X est, en effet, suffisamment grande pour qu'un phénomène de faible intensité puisse être aisément perçu comme nous le verrons au chapitre V.

Je conclurai donc que, dans les conditions de mes expériences, une élévation de température de 20° ne modifie pas la sensibilité des germes aux rayons X de 0,13 à 0,25 U. Ä.

### b) Influence des agents chimiques sur la radiosensibilité des plantes.

Diverses substances ont été employées, dans le but de diminuer ou d'augmenter l'intensité de la radiosensibilité.

#### 1. — Agents susceptibles de diminuer la radiosensibilité.

Parmi les auteurs qui ont cherché à protéger les plantes contre l'action des rayons, je signalerai Nadson et Zolkevie (154). Ces auteurs ont écrit que le potassium à l'état d'iodure de potassium diminue nettement la sensibilité des graines de Sinapis alba aux rayons du radium, et que le chlorure de potassium possède la même action vis-à-vis des cellules de levure soumises à l'influence des rayons X ; le chlorure de sodium, par contre, n'a pas ce pouvoir.

En ce qui concerne les plantes, les auteurs faisaient gonfler leurs graines pendant 18 heures dans la solution de sel de potassium à 1 %, ils les séchaient sur papier filtre et les irradiaient ; parallèlement, les témoins étaient mis à gonfler pendant 18 heures dans de l'eau. Les expériences citées sont au nombre de deux ; elles renfermaient au total 8 graines pour l'une et 14 pour l'autre.

La connaissance de ces résultats, m'a incitée à faire l'expérience suivante :

**Expérience 179.** — 500 lentilles sèches sont divisées en 10 lots de 50 graines chacun ; deux d'entre eux sont mis à gonfler, pendant 18 heures, dans une solution de chlorure de calcium à 1% , deux autres dans une solution de chlorure de potassium à 1% , deux autres dans une solution de chlorure de sodium à 1 %, deux autres encore dans une solution de chlorure de magnésium à 1% . Les deux derniers lots ont été placés, pendant 18 heures, dans l'eau. Cinq de ces divers lots ont été irradiés avec 8 H, les 5 autres ont servi de témoins. Les plantes ont ensuite été cultivées toutes ensemble sur eau. Neuf jours plus tard, j'ai mesuré la croissance de leurs racines. Elle était très voisine pour les divers lots témoins et en moyenne de 126 mm. Les lots irradiés mesuraient :

1° Lentilles gonflées 18 heures dans le chlorure de calcium ..... 96,4 mm.
2° Lentilles gonflées 18 heures dans le chlorure de sodium ..... 96,5 »
3° Lentilles gonflées 18 heures dans le chlorure de potassium ..... 95,1 »
4° Lentilles gonflées 18 heures dans le chlorure de magnésium ..... 54,7 »
5° Lentilles gonflées 18 heures dans l'eau ..... 94,7 »

Les résultats de cette expérience montrent donc que le potassium n'a pas protégé les graines de lentilles contre l'action des rayons. Je ferai remarquer, en outre, que les essais effectués sur des graines gonflées ne sont nullement indiqués, lorsqu'il s'agit de mettre, avec certitude, un phénomène en évidence. Ils manquent, en effet, de précision, car les graines ne s'hydratent pas toutes également dans le même temps. Si les semences renferment des proportions différentes d'eau, elles sont diversement sensibles aux rayons, et l'on obtient, dans ce cas, des variations qui peuvent être considérables. Toutefois, ce fait ne se remarque pas nettement dans l'expérience que j'ai réalisée ci-dessus, mais cela s'explique probablement par le grand nombre de graines que j'avais mis en expérience. Je suis amenée à conclure que le potassium n'est pas un agent de protection contre les rayons X.

Un autre procédé de désensibilisation a été employé par P e t r y (164). Pour cet auteur, l'action des rayons se range dans la série des phénomènes photochimiques. Il admet, dans les cellules, l'existence

de groupements atomiques oxydants, qu'il considère comme des sensibilisateurs très puissants de l'effet des rayons. Il suppose, en outre, que leur disparition des tissus en asphyxie doit s'effectuer rapidement, et que, dans ces conditions, les cellules doivent apparaître moins sensibles. Pour vérifier cette hypothèse, il a placé, pendant 20 minutes avant l'irradiation, ainsi que, pendant l'action des rayons, des germes de blé, vesce et lentille dans un courant de gaz carbonique. Il a obtenu, dans ces conditions, une large diminution de la sensibilité pour des doses moyennes. Pour de plus fortes doses, il n'est pas apparu d'effet désensibilisant.

J'ai, sur des lentilles, entrepris des expériences analogues en préparant le gaz carbonique de la même manière que Petry (action de l'acide chlorhydrique sur du marbre et passage du gaz formé dans une solution de carbonate de soude et de permanganate de potassium). J'ai toujours obtenu une lésion des germes par ce gaz, comme le montrent les expériences suivantes :

**Expérience 180.** — Des lentilles de 10 mm. de longueur de racine sont placées, pendant 40 heures, dans une atmosphère de gaz carbonique. Retirées et cultivées sur eau, elles ne se sont pas développées.

**Expérience 181.** — Des lentilles de 15 mm. de longueur de racine sont placées dans une atmosphère de gaz carbonique pendant 4 heures 30 ; d'autres y séjournent pendant 8 heures. Cultivées sur eau avec un lot témoin pendant 14 jours, les moyennes de croissance ont été les suivantes :

*Longueur des racines* :

Lot témoin ..... 153,3 mm. ;

Lot ayant séjourné 4 h. 1/2 dans le gaz carbonique ..... 133,71 mm., soit 87 % ;

Lot ayant séjourné 8 heures dans le gaz carbonique ..... 111,1 mm., soit 72 %.

*Longueur des tiges* :

Lot témoin ..... 122,3 mm ;

Lot ayant séjourné 4 h. 1/2 dans le gaz carbonique ..... 113,6 mm., soit 92,8 % ;

Lot ayant séjourné 8 heures dans le gaz carbonique ..... 110,0 mm., soit 89,9 %.

**Expérience 182.** — J'ai, dans cet essai, comparé l'action du gaz carbonique et de l'azote sur des germes de lentilles de 4 mm. 60 lentilles ont été divisées en 3 lots ; l'un sert de témoin, l'autre séjourne 18 heures dans une atmosphère de gaz carbonique ; le troi-

sième demeure 18 heures dans une atmosphère d'azote ; les plantes sont ensuite cultivées ensemble pendant 12 jours. Les moyennes de croissance des racines et des tiges ont été de :

*Longueur moyenne des racines* :

Lot témoin ..... 132,5 mm.
Lot ayant séjourné 18 heures dans l'azote..... 143,8 mm.
Lot ayant séjourné 18 heures dans du gaz carbonique 68,9 mm.

*Longueur moyenne des tiges* :

Lot témoin ..... 95,9 mm.
Lot ayant séjourné 18 heures dans l'azote..... 92,3 mm.
Lot ayant séjourné 18 heures dans du gaz carbonique 48,1 mm.

On voit donc que le séjour dans l'azote n'a déterminé aucune lésion des germes, alors que le gaz carbonique s'est montré toxique.

**Expérience 183.** — 180 lentilles de 12 mm. de longueur de racine sont divisées en 4 lots ; l'un sert de témoin ; un autre demeure 38 minutes 6 secondes dans du gaz carbonique ; les trois autres sont irradiés avec une dose de 9 H pendant 8 minutes 6 secondes. De ces trois lots irradiés, l'un d'eux n'a pas subi l'action du gaz carbonique, un deuxième a séjourné 30 minutes dans une atmosphère de gaz carbonique, puis a été irradié en étant toujours maintenu dans ce gaz pendant 8 minutes 6 secondes. Le dernier lot a été soumis à l'action des rayons, puis a subi ensuite l'action du gaz carbonique pendant 38 minutes 6 secondes. Cultivés ensemble sur eau pendant 17 jours, les moyennes de longueur des tiges et des racines de chaque lot ont été les suivantes :

*Longueur moyenne des racines* :

Lot témoin ..... 148,1 mm.
Lot témoin ayant séjourné 38 m. 6 sec. dans du gaz carbonique ..... 141,3 »
Lot irradié ..... 72,9 »
Lot irradié dans du gaz carbonique : action de $CO^2$ pendant 38 min. 6 sec. ..... 27,6 »
Lot irradié, puis placé dans du gaz carbonique 38 m. 6 sec. ..... 55,3 »

*Longueur moyenne des tiges* :

Lot témoin ..... 123,7 mm.
Lot témoin ayant séjourné 38 min. 6 sec. dans $CO^2$. 125,5 »
Lot irradié ..... 41,7 »
Lot irradié dans $CO^2$ : action de $CO^2$ pendant 38 min. 6 sec. ..... 24,8 »
Lot irradié, puis placé dans $CO^2$ pendant 38 min. 6 sec. 37,9 »

Cette expérience fournit des résultats qui sont entièrement à l'opposé de ceux de Petry.

Dans toutes ces expériences, l'acide carbonique s'est donc montré lésant pour les germes de lentilles. Il l'est peu pour des plantes non irradiées, lorsqu'elles séjournent un temps relativement court dans ce gaz, mais il devient toxique et même mortel, si elles y demeurent un à deux jours. L'expérience 183 montre que les plantes irradiées apparaissent bien plus sensibles à l'action du gaz carbonique. Elles sont, en effet, beaucoup plus lésées après un séjour de 38 minutes dans le gaz carbonique que les lentilles soumises seulement à l'action des rayons. Ce fait n'est pas spécial au gaz carbonique. On remarque, en effet, comme je le montrerai au chapitre IV, qu'une plante lésée par un agent mécanique et irradiée, manifeste une lésion plus forte que celle résultant de la sommation des deux effets lésants.

En somme, à la différence de Petry, les expériences que j'ai réalisées ne m'ont pas permis d'obtenir une désensibilisation des plantes.

## 2. — Agents chimiques susceptibles d'augmenter la radiosensibilité.

Les substances oxydantes ayant la propriété d'accélérer les réactions photochimiques, Petry, qui, comme je l'ai déjà signalé ci-dessus, range l'effet des rayons X sur les cellules dans cet ordre de phénomènes, a soumis des plantes à l'action de diverses substances oxydantes. Ayant constaté que l'oxygène moléculaire n'avait aucun effet sensibilisant, il a employé des solutions très diluées de chlorure mercurique, nitrate d'argent, bromure d'argent, sulfate de manganèse, perchlorure de fer, sulfate de cuivre, permanganate de potassium, acide azotique, eau chlorée, etc..... L'auteur n'a obtenu, après l'action de ces divers corps, aucune modification de la sensibilité des plantes aux rayons X. Par contre, l'eau oxygénée à 10 volumes, diluée au dixième, a sensibilisé des germes de blé et d'orge à l'action des rayons. L'auteur a fait 27 expériences qui apparaissent très concluantes. Les plantes irradiées, préalablement traitées par l'eau oxygénée pendant 10 à 20 minutes, se montrent beaucoup plus lésées que les germes traités par l'eau oxygénée après irradiation.

Les résultat obtenus par Petry sur l'eau oxygénée étant susceptibles de fournir une hypothèse intéressante sur les causes des variations de sensibilité des plantes, j'ai reproduit ses expériences sur des lentilles.

**Expérience 184.** — 60 lentilles de 10 mm. de longueur de racine sont divisées en deux lots. Le lot 1 est immergé, pendant 10 mi-

nutes, dans de l'eau oxygénée officinale diluée au 1/10. Il est ensuite irradié en même temps que le lot 2 avec une dose de 350 R. Puis le lot 2 est soumis à l'action, pendant 10 minutes, de l'eau oxygénée diluée. Les plantes cultivées toutes ensemble ont été mesurées 14 jours après l'irradiation. Les moyennes de croissance ont été de 29,0 pour le lot 1 et de 33,9 pour le lot 2.

**Expérience 185.** — 70 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en deux lots. Le lot 1 est immergé 10 minutes dans de l'eau oxygénée à 10 volumes diluée au dixième. Il est ensuite irradié en même temps que le lot 2 avec une dose de 400 R. Le lot 2 est ensuite soumis, pendant 10 minutes, à l'action de l'eau oxygénée. Les plantes cultivées toutes ensemble ont été mesurées 14 jours après l'irradiation. Les moyennes de croissance ont été de 27,0 pour le lot 1 et de 27,7 pour le lot 2.

**Expérience 186.** — 70 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en deux lots. Le lot 1 est immergé 10 minutes dans de l'eau oxygénée à 10 volumes diluée au dixième. Il est ensuite irradié en même temps que le lot 2 avec une dose de 350 R. Le lot 2 est ensuite soumis pendant 10 minutes à l'action de l'eau oxygénée. Les plantes cultivées toutes ensemble ont été mesurées 14 jours après l'irradiation. Les moyennes de croissance ont été de 30,4 pour le lot 1 et de 34,6 pour le lot 2.

**Expérience 187.** — 70 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en deux lots. Le lot 1 est immergé 10 minutes dans de l'eau oxygénée à 10 volumes diluée au dixième. Il est ensuite irradié en même temps que le lot 2 avec une dose de 350 R. Le lot 2 est ensuite soumis pendant 10 minutes à l'action de l'eau oxygénée. Les plantes cultivées toutes ensemble ont été mesurées 14 jours après l'irradiation. Les moyennes de croissance ont été de 32,1 pour le lot 1 et de 32,8 pour le lot 2.

Ces expériences montrent que l'effet sensibilisant de l'eau oxygénée trouvé par P e t r y sur des Graminées ne se manifeste pas dans mes expériences sur des racines de lentilles. Dans ces conditions, il ne m'a pas semblé intéressant de poursuivre des expériences dans ce sens.

## III. — ÉTUDE DES CAUSES DE LA RADIOSENSIBILITÉ.

Diverses théories ont été émises, pour expliquer la radiosensibilité des cellules aux rayons X. Elles sont relatives à l'influence du métabolisme, à celle de l'hydratation, et enfin à celle de la structure cellulaire, ce terme étant pris dans son sens le plus large.

### A. — Influence du métabolisme.

La première de ces théories reconnaît au métabolisme une part prépondérante. Les expériences de Körnicke, celles de Schwarz sur l'insensibilité des graines sèches à des doses qui lèsent fortement les semences germées, les essais de désensibilisation de la peau ainsi que des observations cliniques, ont contribué à répandre l'idée que la sensibilité d'un tissu ou d'un organisme aux rayons X dépendait de son activité physiologique. C'est ainsi que, jusque vers 1920, il était couramment admis que, plus l'intensité des échanges était élevée, plus était grande la radiosensibilité des cellules.

En 1921, Holthusen, sur des œufs d'Ascaris, Petry, sur des plantes, ont recherché, si le métabolisme était réellement susceptible d'influencer la sensibilité.

Holthusen (85), dans ce but, a fait diverses sortes d'expériences :

1° Ayant observé que la sensibilité des œufs d'Ascaris variait au cours des premières mitoses de segmentation, il s'est demandé, si ce fait pouvait s'expliquer par une absorption d'oxygène plus ou moins intense. Il constata, à l'aide d'un manomètre que la quantité d'oxygène absorbée demeurait sensiblement la même aux stades de un, deux ,trois et quatre cellules. Les oscillations de la sensibilité au cours du développement ne correspondent donc pas à des modifications du métabolisme.

2° D'autre part, des œufs d'Ascaris irradiés quelques heures, après avoir séjourné pendant 48 heures dans une atmosphère privée d'oxygène, n'apparurent pas plus lésés que des œufs irradiés pendant l'anoxybiose. La présence ou l'absence d'oxygène n'influence donc pas la radiosensibilité.

3° Enfin Holthusen a constaté que des œufs d'Ascaris irradiés à des températures différentes, 12° et 22° par exemple, manifestaient des lésions dissemblables. Les embryons irradiés à la chaleur se sont montrés plus sensibles ; le coefficient de température apparaît être un peu inférieur à 2. De semblables essais, effectués sur des œufs en anoxybiose ont donné des résultats très voisins. L'auteur fait remarquer que, si le métabolisme agissait sur la sensibilité, ces deux variétés d'essai auraient dû fournir de notables différences, l'intensité des échanges étant très ralentie en anoxybiose.

De ces trois séries d'expériences, Holthusen conclut que la plus ou moins grande radiosensibilité des cellules n'est pas fonction de la plus ou moins grande intensité des échanges.

Cette même année, P e t r y (162) entreprit, sur les plantes, des expériences qui le conduisirent à la même conclusion. Il essaya de supprimer ou de diminuer très considérablement la respiration de jeunes plantules de blé, afin de voir, si la diminution des combustions entraînait parallèlement une plus grande résistance des germes à l'action des rayons. Il employa, dans ce but, trois procédés différents qui, corrélativement, suspendirent l'accroissement. Ce fut : l'action du froid, celle du cyanure de potassium et celle de l'anoxybiose.

1° L'auteur a, tout d'abord, utilisé l'action du froid. Il constata que des graines de blé, germées depuis deux ou trois jours, placées sur de la glace et irradiées ensuite, se montrent aussi lésées que des germes soumis à l'action des rayons à une température de 30°. L'auteur signale que l'intensité de la respiration a varié cependant dans ces conditions de 1 à 10. La sensibilité semble donc indépendante de l'intensité des échanges.

P e t r y remarque que le faible coefficient de température, manifesté par la radioréaction, la distingue des autres réactions chimiques ; seuls, dit-il, les phénomènes photochimiques font exception à la loi de V a n t' H o f, ce qui incite l'auteur à considérer la radioréaction comme une photoréaction.

2° P e t r y (162), se basant sur des expériences de S c h r ö d e r a, dans une deuxième série d'essais, intoxiqué des germes de Triticum par du cyanure de potassium. S c h r ö d e r a, en effet, observé que ce corps diminue notablement l'intensité de la respiration de l'Aspergillus. S c h a e r signale, en outre, que l'accroissement est arrêté pendant le temps où agit le poison, mais qu'il reprend lorsque cesse l'action du toxique.

Les expériences que P e t r y a réalisées n'ont montré aucune désensibilisation des germes de blé. Il apparaît, au contraire, que les lots intoxiqués et irradiés ont été plus lésés que les lots simplement irradiés.

3° Dans une dernière série d'essais, P e t r y (165) a constaté que des germes maintenus dans une atmosphère dépourvue d'oxygène et irradiés se montrent aussi lésés que des germes irradiés en présence d'air.

De tous ces essais, P e t r y conclut que la radiosensibilité est indépendante de l'intensité des combustions. Il ajoute : la cause de l'apparition de la sensibilité, au moment de la germination des graines, ne peut donc être due à l'activité physiologique manifestée par les plantes mais seulement à des modifications de structure se produisant simultanément. Le système photosensible est préformé dans la graine au repos, mais il est inefficace.

Les expériences, que j'ai effectuées, m'ont conduite à me ranger à l'opinion d'Holthusen et de Petry. J'ai pu, en effet, constater que des germes de lentilles sont aussi sensibles à 2°, 5° ou 8° qu'à 18°, 22°, 24° ou 28°.

Les résultats de ces expériences, déjà mentionnés précédemment, figurent dans le Tableau XXIII. Ils aboutissent à la conclusion que les variations du métabolisme ne modifient pas la radiosensibilité.

### B. — Influence de l'hydratation.

Petry (164) a recherché qu'elle était l'influence de l'hydratation. Il s'est demandé, si ce facteur était redevable de la différence de sensibilité existant entre les graines gonflées et germées, et si l'action d'un gonflement prolongé ne suffirait pas à rendre les graines aussi sensibles à l'action des rayons X que la germination. Dans ce but, il a fait gonfler des lentilles à l'abri de l'oxygène, dans de l'eau bouillie, sous huile, en même temps qu'il mettait en germination un autre lot de semences. Lorsque ces dernières ont atteint 9 mm. de longueur de racine, il les a irradiées avec une dose de 9 H ainsi que les graines gonflées dans l'eau bouillie à l'abri d'oxygène et qui n'étaient pas germées. Les lentilles gonflées se sont accrues par rapport aux témoins de 87 %, alors que les lentilles germées n'ont manifesté que 9,3 % de croissance par rapport aux lentilles témoins. Il en résulte qu'un gonflement longtemps prolongé ne peut remplacer l'effet sensibilisateur produit par la germination.

J'ai reproduit cette expérience (expérience 188) sur 200 lentilles : 100 d'entre elles ont été maintenues 48 heures dans l'eau bouillie dans un bocal clos par un bouchon de caoutchouc paraffiné, pendant que les autres étaient mises en germination entre deux feuilles de coton humide. Lorsque la plupart de ces dernières ont atteint 10 mm. de longueur de racine, je les ai irradiées avec une dose de 10 H ainsi que les lentilles gonflées dans l'eau bouillie et non encore germées. Ces deux lots ont ensuite été mis en culture avec des plantes témoins ; 10 jours plus tard, la croissance des tiges et des racines ayant été mesurée, j'ai obtenu les résultats suivants :

*Longueurs moyennes des racines* :

Lot témoin, germé entre coton.....115 mm. ;
Lot irradié, germé entre coton (10 mm. longueur) ..... 15,2 mm., soit 13,2 % ;
Lot témoin, soumis 48 heures à un gonflement dans l'eau bouillie..... 90,2 mm. ;
Lot irradié, après 48 heures de gonflement dans l'eau bouillie ..... 77,1 mm., soit 85,4 %.

*Longueur moyenne des tiges* :

Lot témoin, germé entre coton .....111,5 mm. ;
Lot irradié, germé entre coton (10 mm. longueur) ..... 14 mm., soit 12,5 % ;
Lot témoin, soumis 48 h. à un gonflement dans l'eau bouillie ..... 78,8 mm. ;
Lot témoin, irradié après 48 h. de gonflement dans l'eau bouillie ..... 69,8 mm., soit 88,6 %.

Cette expérience confirme donc parfaitement les résultats de P e t r y. J'ai recherché, en outre, sur 1000 germes de lentilles (expérience 189), si l'hydratation était la même après gonflement de 48 heures dans l'eau bouillie ou deux jours après la mise en germination des graines entre deux feuilles de coton humide. J'ai obtenu les résultats suivants :

Teneur en eau des lentilles gonflées 48 h. dans l'eau bouillie : 85,8 % ;
Teneur en eau des lentilles germées 48 h. après la mise en germination entre coton humide : 86,2 %.

Ces expériences établissent donc qu'à hydratation égale, la sensibilité des semences de lentilles est très différente suivant qu'elles sont germées ou non.

J'ai recherché, d'autre part, si l'optimum de sensibilité que j'avais constaté, chez les lentilles au stade de 10 mm. de longueur de racine, coïncidait avec un maximum d'hydratation. J'ai, dans ce but, fait germer des lentilles, et lorsqu'elles avaient atteint 2, 5, 10, 20, 30 mm. de longueur de racine, je séparais les germes des cotylédons et plaçais les plantules dans des pèse-filtres et déterminais le poids frais ; après dessication à l'étuve à 100° jusqu'à poids constant, j'évaluais le poids sec et la teneur en eau des germes. Les résultats moyens ont été les suivants :

| | Longueur des racines (en mm.) | Teneur en eau (en o/o.) |
|---|---|---|
| Graines gonflées 23 heures..... | — | 73,5 |
| Graines germées ..... | 2 | 74,4 |
| » » ..... | 5 | 79,8 |
| » » ..... | 10 | 85,6 |
| » » ..... | 20 | 88,2 |
| » » ..... | 30 | 88,8 |

Ces résultats montrent que parallèlement à la sensibilité, la teneur en eau augmente des graines gonflées aux germes de 10 mm. de longueur de racine, mais, à partir de ce stade, l'hydratation seule continue à s'élever légèrement, la croissance des lentilles de 20 mm.

étant toujours, après irradiation à dose égale, supérieure à celle des germes de 10 mm. Il en résulte que l'optimum de sensibilité manifestée par les lentilles de 10 mm. de longueur de racine n'est pas dû à la plus grande teneur en eau des plantes à ce stade.

Toutefois, si les variations de la teneur en eau n'expliquent pas, dans tous les cas, les différences de radiosensibilité, il est certain cependant qu'elles ne sont pas totalement indépendantes l'une de l'autre. C'est ainsi, par exemple, que les graines irradiées au début du gonflement, alors que les cellules ne prennent vraisemblablement que de l'eau, se montrent nettement plus lésées que les semences irradiées sèches. D'autre part, Petry a remarqué que des germes de blé desséchés et irradiés apparaissent moins lésés que des graines germées, mais ils sont cependant plus atteints que des semences au repos.

Il est donc certain que l'hydratation influe sur l'augmentation de la radiosensibilité cellulaire, mais elle ne suffit pas cependant à l'expliquer dans sa totalité.

### C. — Influence de la structure cellulaire.

Les résultats des expériences entreprises sur l'action du métabolisme et de l'hydratation ont conduit Petry à expliquer les variations de la sensibilité des cellules aux rayons X par des modifications de leur composition chimique. Il dit : Ce qui rend un tissu sensible c'est l'effet produit sur la structure cellulaire par des phénomènes respiratoires qui ont précédé l'irradiation. La sensibilité est donc due à des causes constitutionnelles et non à des états fonctionnels. Se rangeant à l'opinion que l'effet des rayons X sur les tissus est dû à une réaction photochimique, l'auteur s'est demandé, s'il ne serait pas possible d'influencer la sensibilité par l'addition de substances possédant la propriété d'augmenter les absorptions lumineuses. Downes et Blunt ayant observé que les effets nocifs de la lumière se faisaient principalement sous l'action de l'oxydation, Petry en analogie avec les expériences de ces auteurs, a recherché quelle était l'influence des diverses substances oxydantes. Ainsi que je l'ai indiqué précédemment, seule l'action de l'eau oxygénée a favorisé la photoréaction en augmentant l'effet nocif de l'irradiation. Petry attribue ce fait à ce que l'eau oxygénée seule a pénétré particulièrement bien dans les tissus. Il pense que les produits oxydants doivent, en principe, sensibiliser la radioréaction mais à la condition d'arriver tels quels dans les tissus et à une concentration suffisante. L'auteur en conclut que les substances sensibilisatrices contenues dans les cellules renfermeraient le groupement peroxyde. Il fait re-

marquer, au surplus, que s'il en est bien ainsi, ces radiosensibilisateurs doivent disparaître rapidement des tissus en asphyxie, et que l'effet de l'irradiation doit être beaucoup moins marqué dans ces conditions. En irradiant des graines germées dans une atmosphère de gaz carbonique, il a pu obtenir, en effet, pour des doses moyennes, une diminution nette de la radiolésion.

En résumé, Petry admet qu'il se formerait, lors de la respiration, une substance photosensible manquant chez les plantes en anoxybiose. Il y aurait, lors de l'irradiation, oxydation de cette substance, la réaction se faisant aux dépens des peroxydes contenus dans les cellules. Les différences de sensibilité, observées chez une même plante à divers états de développement, pourraient s'expliquer par des variations de la teneur en substance photosensible. Par contre, les différences de sensibilité manifestées à un même stade de l'évolution par des germes d'espèces variées pourraient être fonction de la teneur en peroxyde des cellules sensibles.

Quelle que soit la valeur des déductions de Petry, il se dégage de ses expériences que la sensibilité des plantes aux rayons X ne dépend pas de leur activité métabolique mais bien de la constitution de leurs cellules.

Les expériences que j'ai réalisées me conduisent à adopter cette manière de voir. Je conclurai donc que : la sensibilité des cellules aux rayons X dépend de leur structure physico-chimique (hydratation, composition chimique) ; l'activité physiologique, au contraire, n'est pas un facteur de radiosensibilité.

---

## Chapitre IV.

# ÉTUDE DE LA MANIFESTATION DES RADIOLÉSIONS

---

L'étude de l'effet biologique des doses moyennes et fortes de rayons X ainsi que celle de la sensibilité ont mis en évidence l'action nocive de ces rayons sur le développement des plantes, la lésion qu'ils créent dans les cellules du végétal se manifestant à nous par une diminution ou un arrêt de croissance. Du trouble apporté à l'accroissement, nous déduisons la lésion ; plus il est intense, plus la lésion

nous apparaît grande. Il est hors de doute que la diminution proportionnelle de l'évolution des germes, suivant l'application de quantités de rayons de plus en plus élevées, traduit une augmentation de la lésion proportionnelle à la dose. De même, les variations d'accroissement que manifestent, à la suite d'une même irradiation, des germes diversement sensibles, indiquent une lésion différente. Toutefois, il est important de remarquer que l'évaluation du trouble apporté à l'accroissement est un procédé permettant de connaître approximativement la lésion, mais il n'est pas susceptible de la saisir elle-même. De la lésion produite par les rayons X, nous ne voyons donc que la manifestation ; si cette lésion reste latente, nous sommes tentés de croire qu'elle n'existe pas. La lésion et sa manifestation sont donc deux choses différentes ; l'une est un phénomène physique, l'autre un phénomène physiologique ; on les assimile cependant l'une à l'autre. Il m'est apparu au cours des expériences que j'ai réalisées que cette assimilation n'était possible que dans certaines conditions bien déterminées. J'ai ainsi été conduite à approfondir l'étude de la manifestation des lésions. Dans ce but, j'ai recherché l'influence de divers facteurs extérieurs et intérieurs sur la manifestation des lésions.

Mes expériences ont porté sur :

I. L'étude de l'action de divers facteurs extérieurs sur la manifestation des lésions ;

II. L'étude de la latence active ;

III. L'étude de la latence passive ;

IV. L'étude de la dose dispersée ;

V. L'étude de la cumulation des doses de rayons X.

## I. — ACTION DE FACTEURS EXTÉRIEURS SUR LA MANIFESTATION DES RADIO-LÉSIONS.

J'ai recherché, dans cette étude, quelle était, après l'action des rayons X, l'influence de divers facteurs extérieurs sur l'intensité de la manifestation des lésions. Dans ce but, j'ai tout d'abord irradié des plantes à un même stade avec une même dose de rayons X ; j'ai ensuite soumis les germes à l'influence de facteurs variables, afin de voir si la manifestation de la lésion restait toujours identique. J'ai ainsi étudié l'action du temps, celle de la lumière, l'influence de divers agents chimiques et celle du traumatisme.

### A. — Action du temps.

J'ai, dans cette recherche, étudié comment évoluait la manifestation de la lésion au fur et à mesure du temps écoulé après l'irradiation.

Dans ce but, j'ai soumis à l'action des rayons des graines de haricots, lentilles, blé, à l'état sec, gonflé ou germé, puis je les ai mises en culture exactement dans les mêmes conditions, ainsi que je l'ai indiqué dans le chapitre des techniques. Les plantes étaient mesurées à plusieurs reprises dans la quinzaine de jours qui suivaient l'irradiation. Les résultats des expériences sont donnés dans les Tableaux XXIV, XXV, XXVI. Le Tableau XXIV indique les résultats obtenus sur les haricots, le Tableau XXV, sur les lentilles et le Tableau XXVI, sur le blé. J'ai mentionné, dans le Tableau XXIV, le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, l'état de la plante au moment de l'irradiation, la dose de rayons appliquée, les jours de mesure, la moyenne d'accroissement des racines, hypocotyles et radicelles témoins, ainsi que les moyennes et les % de croissance des racines, radicelles, hypocotyles irradiés. Les Tableaux XXV et XXVI renferment les mêmes données ; toutefois, les mesures ont été faites, pour les lentilles, sur les racines, tiges et radicelles et, pour le blé, sur la longueur des deux premières feuilles.

Les résultats de ces expériences mettent en évidence un certain nombre de faits.

1° Le plus frappant d'entre eux est que, pour des doses moyennes et fortes, la manifestation de la lésion augmente avec le temps écoulé après l'irradiation. L'expérience 205 montre, en effet, que la longueur des racines de lentilles irradiées comparée à celle des témoins (% de croissance) est plus faible au quatorzième qu'au neuvième jour après l'action des rayons.

L'expérience 200 fait apparaître ce phénomène sur les tiges et les racines et ceci très nettement pour les lots irradiés avec 5 et 20 H. Les expériences 206, 207, 208, 209, réalisées sur du blé, ainsi que celles entreprises sur des haricots ont donné des résultats de même sens.

En ce qui concerne les très fortes doses, ce fait ne surprend pas, car les plantes irradiées ne croissent que très faiblement, alors que les témoins se développant très rapidement, le % de croissance doit forcément diminuer avec le temps.

2° On remarque, en second lieu, que, pour des doses moyennes, la lésion se stabilise après un certain temps sur les racines (expériences 190, 191, 199, gonflés 5 heures).

3° D'autre part, les mesures effectuées sur des radicelles montrent que :

*a*) Pour de faibles doses, la manifestation de la lésion n'est visible, au début, que sur les radicelles ; elles apparaissent, en effet, plus tardivement chez les irradiés que chez les témoins (expériences 205 :

# TABLEAU XXIV

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jours de mesure | Racines | | Radicelles | | Hypocotyles | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 190 | 120 | sec | 100 | 3 | 24.3 | 56.4 | 0.0 | 0.0 | — | — |
| | | | témoins | 3 | 43.0 | — | 5.6 | — | — | — |
| | | | 100 | 4 | 27.4 | 51.9 | 43.7 | 21.4 | — | — |
| | | | témoins | 4 | 52.7 | — | 204.8 | — | — | — |
| | | | 100 | 5 | 34.6 | 51.0 | 49.7 | 23.2 | — | — |
| | | | témoins | 5 | 67.8 | — | 213.8 | — | — | — |
| | | | 100 | 8 | 52.5 | 49.7 | 140.7 | 36.6 | — | — |
| | | | témoins | 8 | 105.5 | — | 384.0 | — | — | — |
| 191 | 100 | sec | 100 | 5 | 21.0 | 84.0 | 0.7 | 0.02 | — | — |
| | | | témoins | 5 | 35.0 | — | 28.5 | — | — | — |
| | | | 100 | 7 | 28.0 | 55.4 | 40.0 | 33.3 | — | — |
| | | | témoins | 7 | 50.5 | — | 120.0 | | — | — |
| | | | 100 | 11 | 47.0 | 52.2 | 168.0 | 48.0 | — | — |
| | | | témoins | 11 | 90.0 | — | 350.0 | — | — | — |
| 192 | 20 | sec | 120 | 7 | 40.2 | 64.4 | 86.3 | 39.9 | 24.4 | 99.2 |
| | | | témoins | 7 | 62.5 | — | 218.0 | — | 24.6 | — |
| | | | 120 | 12 | 58.1 | 53.9 | 220.3 | 46.3 | 31.4 | 79.0 |
| | | | témoins | 12 | 107.7 | — | 475.1 | — | 39.7 | — |
| 193 | 20 | sec | 150 | 7 | 34.8 | 55.8 | 45.7 | 20.9 | 20.8 | 84.6 |
| | | | témoins | 7 | 62.5 | — | 218.0 | — | 24.6 | — |
| | | | 150 | 12 | 45.0 | 41.7 | 141.0 | 29.6 | 26.3 | 66.1 |
| | | | témoins | 12 | 107.7 | — | 475.1 | — | 39.7 | — |
| 194 | 40 | gonflé 15h. | 60 | 3 | 7.8 | 36.6 | 0 | 0 | — | — |
| | | | témoins | 3 | 21.5 | — | 5.2 | — | — | — |
| | | | 60 | 6 | 15.0 | 24.1 | 0 | 0 | — | — |
| | | | témoins | 6 | 62.2 | — | 158.3 | — | — | — |
| | | | 60 | 9 | 17.5 | 16.9 | 4.1 | 0.7 | — | — |
| | | | témoins | 9 | 107.6 | — | 573.6 | — | — | — |
| 195 | 40 | gonflé 6 h. | 40 | 4 | 24.6 | 63.8 | 9.5 | 15.8 | 19.0 | 76.0 |
| | | | témoins | 4 | 38.5 | — | 60.0 | — | 25.0 | — |
| | | | 40 | 11 | 62.0 | 40.6 | 342.9 | 38.3 | 76.5 | 60.0 |
| | | | témoins | 11 | 152.5 | — | 895.3 | — | 127.3 | — |
| | | gonflé 23h. | 40 | 4 | 23.0 | 59.7 | 3.3 | 5.5 | 21.0 | 84.0 |
| | | | 40 | 11 | 29.4 | 19.2 | 35.1 | 3.9 | 38.2 | 30.0 |
| 196 | 20 | germé 2 mm. | 40 | 5 | 26.1 | 42.5 | 2.1 | 0.1 | 21.1 | 85.9 |
| | | | témoins | 5 | 62.5 | — | 218.1 | — | 24.6 | — |
| | | | 40 | 10 | 29.1 | 27.0 | 5.5 | 1.1 | 28.0 | 70.4 |
| | | | témoins | 10 | 107.7 | — | 475.1 | — | 39.7 | — |

# TABLEAU XXV

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jours de mesure | Racines | | Tiges | | Radicelles | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 197 | 280 | sec | témoins | 5 | 22.4 | 100 | — | — | — | — |
| | | | 40 | 5 | 22.2 | 98.8 | — | — | — | — |
| | | | 70 | 5 | 18.4 | 81.8 | — | — | — | — |
| | | | 100 | 5 | 17.0 | 75.6 | — | — | — | — |
| | | | 150 | 5 | 14.2 | 63.5 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 14 | 85.9 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 14 | 72.4 | 84.2 | — | — | — | — |
| | | | 70 | 14 | 58.6 | 68.1 | — | — | — | — |
| | | | 100 | 14 | 53.9 | 52.7 | — | — | — | — |
| | | | 150 | 14 | 30.8 | 35.8 | — | — | — | — |
| 198 | 60 | sec | témoins | 7 | 65.0 | — | 29.0 | — | — | — |
| | | | 150 | 7 | 19.0 | 29.2 | 15.0 | 51.7 | — | — |
| | | | témoins | 10 | 125.0 | — | 71.0 | — | — | — |
| | | | 150 | 10 | 19.0 | 15.2 | 21.0 | 29.5 | — | — |
| | | | témoins | 15 | 165.0 | — | 110.0 | — | — | — |
| | | | 150 | 15 | 22.0 | 13.3 | 25.0 | 22.7 | — | — |
| 199 | 300 | gonflé 5 h. | témoins | 5 | 20.4 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 5 | 14.2 | 68.4 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 7 | 42.2 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 7 | 20.8 | 49.2 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 9 | 74.0 | — | — | — | 5.8 | — |
| | | | 40 | 9 | 31.1 | 42.0 | — | — | 0.7 | 12.2 |
| | | | témoins | 14 | 125.8 | — | — | — | 168.7 | — |
| | | | 40 | 14 | 57.6 | 45.7 | — | — | 76.3 | 45.4 |
| | | gonflé 23 h. | 40 | 5 | 11.3 | 54.9 | — | — | — | — |
| | | | 40 | 7 | 12.1 | 28.7 | — | — | — | — |
| | | | 40 | 9 | 12.5 | 16.9 | — | — | 0.0 | 0.0 |
| | | | 40 | 14 | 12.7 | 10.1 | — | — | 0.3 | 0.18 |
| 200 | 450 | germé 6 mm. | témoins | 2 | 17.4 | — | — | — | — | — |
| | | | 1 | 2 | 14.7 | 85.7 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 5 | 32.4 | — | 12.4 | — | — | — |
| | | | 1 | 5 | 30.0 | 92.6 | 11.2 | 90.4 | — | — |
| | | | témoins | 9 | 67.5 | — | 36.1 | — | 40.1 | — |
| | | | 1 | 9 | 55.8 | 82.7 | 30.1 | 83.3 | 21.2 | 52.9 |
| | | | témoins | 13 | 94.5 | — | 58.9 | — | 132.0 | — |
| | | | 1 | 13 | 78.1 | 82.5 | 53.1 | 90.1 | 171.4 | 54.1 |
| | | | 5 | 2 | 14.8 | 85.2 | — | — | — | — |
| | | | 5 | 5 | 21.0 | 64.7 | 9.1 | 73.3 | — | — |
| | | | 5 | 9 | 27.2 | 40.2 | 18.7 | 51.7 | 0.3 | 0.8 |
| | | | 5 | 13 | 36.6 | 38.7 | 25.2 | 42.8 | 7.3 | 5.5 |
| | | | 20 | 2 | 14.3 | 70.4 | — | — | — | — |
| | | | 20 | 5 | 14.1 | 43.5 | 7.6 | 61.2 | — | — |
| | | | 20 | 9 | 13.7 | 20.3 | 12.6 | 34.0 | 0.02 | 0.04 |
| | | | 20 | 13 | 13.8 | 14.6 | 12.9 | 21.9 | 0.15 | 0.11 |

**Tableau XXV** **(suite)**

| Expériences | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jours de mesure | Racines | | Tiges | | Radicelles | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 201 | 150 | germé 2 mm. | 40 | 4 | 10.5 | 46.0 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 4 | 20.4 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 6 | 10.5 | 20.9 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 6 | 42.2 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 8 | 9.7 | 10.8 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 8 | 74.0 | — | — | — | — | — |
| | | | 40 | 13 | 9.5 | 6.0 | — | — | — | — |
| | | | témoins | 13 | 125.8 | — | — | — | — | — |
| 202 | 150 | germé 40 mm. | 40 | 2 | 58.4 | 54.2 | — | — | 0.02 | 0.3 |
| | | | témoins | 2 | 74.0 | — | — | — | 5.7 | — |
| | | | 40 | 7 | 69.1 | 23.1 | — | — | 0.25 | 0.15 |
| | | | témoins | 7 | 125.8 | — | — | — | 168.2 | — |
| 203 | 100 | germé 2 mm. | 10 | 6 | 17.9 | 56.5 | 9.1 | 78.4 | — | — |
| | | | témoins | 6 | 30.2 | — | 11.7 | — | — | — |
| | | | 10 | 15 | 51.1 | 53.2 | 45.0 | 68.2 | — | — |
| | | | témoins | 15 | 94.2 | — | 66.0 | — | — | — |
| 204 | 40 | germé 2 mm. | 10 | 9 | 46.3 | 69.5 | 29.1 | 79.0 | — | — |
| | | | témoins | 9 | 66.6 | — | 36.9 | — | — | — |
| | | | 10 | 17 | 87.1 | 65.0 | 46.7 | 50.6 | — | — |
| | | | témoins | 17 | 133.8 | — | 92.2 | — | — | — |
| 205 | 200 | germé 10 mm. | témoins | 9 | 76.3 | — | — | — | 4.5 | — |
| | | | témoins | 14 | 124.2 | — | — | — | 77.6 | — |
| | | | 1 | 9 | 75.5 | 98.9 | — | — | 0.6 | 13.5 |
| | | | 1 | 14 | 111.6 | 89.9 | — | — | 45.1 | 58.1 |
| | | | 3 | 9 | 49.6 | 65.0 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 3 | 14 | 72.4 | 58.3 | — | — | 51.7 | 66.5 |
| | | | 5 | 9 | 34.8 | 45.6 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 5 | 14 | 47.7 | 39.1 | — | — | 3.4 | 4.4 |
| | | | 7 | 9 | 28.4 | 37.1 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 7 | 14 | 31.2 | 25.4 | — | — | 1.3 | 1.6 |
| | | | 9 | 9 | 22.1 | 28.9 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 9 | 14 | 23.6 | 19.3 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 11 | 9 | 21.5 | 28.2 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 11 | 14 | 21.8 | 17.9 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 13 | 9 | 21.3 | 27.9 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 13 | 14 | 20.2 | 16.5 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 15 | 9 | 19.4 | 25.4 | — | — | 0 | 0 |
| | | | 15 | 14 | 19.6 | 16.0 | — | — | 0 | 0 |

## TABLEAU XXVI

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Doses (en H) | Jours de mesure | Feuilles | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
| 206 | 120 | 2 | 15 | 3 | 19.1 | 56.7 |
| | | | témoins | — | 33.6 | — |
| | | | 15 | 5 | 29.2 | 38.8 |
| | | | témoins | — | 75.1 | — |
| | | | 15 | 6 | 39.2 | 34.3 |
| | | | témoins | — | 114.1 | — |
| | | | 15 | 8 | 56.0 | 30.9 |
| | | | témoins | — | 181.0 | — |
| 207 | 120 | 5 | 15 | 2 | 32.9 | 97.8 |
| | | | témoins | — | 33.6 | — |
| | | | 15 | 4 | 44.8 | 59.7 |
| | | | témoins | — | 75.1 | — |
| | | | 15 | 5 | 58.7 | 51.5 |
| | | | témoins | — | 114.1 | — |
| | | | 15 | 7 | 69.7 | 38.5 |
| | | | témoins | — | 181.0 | — |
| 208 | 120 | 10 | 15 | 1 | 29.8 | 88.7 |
| | | | témoins | — | 33.6 | — |
| | | | 15 | 3 | 49.2 | 65.5 |
| | | | témoins | — | 75.1 | — |
| | | | 15 | 4 | 70.5 | 61.8 |
| | | | témoins | — | 114.1 | — |
| | | | 15 | 6 | 95.3 | 52.6 |
| | | | témoins | — | 181.0 | — |
| 209 | 120 | 30 | 15 | 2 | 65.7 | 87.9 |
| | | | témoins | — | 49.2 | — |
| | | | 15 | 3 | 92.9 | 81.4 |
| | | | témoins | — | 114.1 | — |
| | | | 15 | 5 | 127.7 | 70.5 |
| | | | témoins | — | 181.0 | — |

1 H), mais, au fur et à mesure que le temps s'écoule, le % de croissance augmente, la manifestation de la lésion diminue.

*b*) Pour des doses moyennes ; la lésion se marque très fortement sur les radicelles quelque temps après l'irradiation, mais, comme après l'action de faibles doses, le % de croissance se relève, la manifestation de la lésion diminue avec le temps (expériences 190, 191, 192, 199, gonflés 5 h.).

*c*) Pour de fortes doses, les radicelles n'apparaissent pas, ou s'il s'en forme quelques-unes, elles meurent, comme la plante, après un certain temps.

Il apparaît donc, en résumé, que la manifestation de la lésion est variable avec le temps écoulé après l'irradiation.

Pour de faibles doses, elle n'est visible, avec certitude, que sur les radicelles et diminue avec le temps. Pour des doses moyennes et fortes, elle augmente avec le temps écoulé sur les racines et les tiges. Pour des doses moyennes, elle se stabilise, après un certain temps, sur les racines et diminue sur les radicelles.

De ces résultats, découle la conclusion que, pour juger de la lésion créée par les rayons X, il est nécessaire de comparer la croissance des plantes irradiées et témoins après un même temps écoulé depuis l'irradiation. C'est ainsi que l'établissement de courbes de lésion en fonction de diverses doses de rayons X, la mise en évidence de différences de sensibilité, nécessitent des mesures effectuées un même temps après l'irradiation.

### B. — Action de la lumière.

J'ai recherché, dans l'étude de l'action de ce facteur, si l'étiolement produit chez les plantes cultivées à l'obscurité après l'irradiation diminuait, augmentait, ou ne modifiait pas la manifestation de la lésion. Dans ce but, des lentilles de même longueur de germe ont été soumises à l'action de la même dose de rayons, puis partagées en deux lots : l'un a été cultivé à la lumière, l'autre à l'obscurité. Deux lots témoins ont été placés dans les mêmes conditions. Onze jours après l'irradiation, j'ai mesuré la longueur des racines et des tiges des quatre lots ; les résultats ont été les suivants.

**Expérience 210.** — 80 lentilles de 2 mm. de longueur de racine sont divisées en quatre lots, deux lots reçoivent 10 H ; l'un deux est, ensuite, cultivé à la lumière ainsi qu'un lot témoin ; l'autre est placé à l'obscurité avec le second lot témoin. Onze jours après l'irradiation, les moyennes et les % de croissance étaient :

*Lentilles cultivées, à la lumière, après irradiation* :

Longueur moyenne des racines témoins : 131,4 mm. ;
Longueur moyenne des racines irradiées : 58,9 mm., soit une croissance de 44,8 % ;
Longueur moyenne des tiges témoins : 120,1 mm. ;
Longueur moyenne des tiges irradiées : 67,4 mm., soit une croissance de 56,1 %.

*Lentilles cultivées, à l'obscurité, après irradiation* :

Longueur moyenne des racines témoins : 127,4 mm. ;
Longueur moyenne des racines irradiées : 58,3 mm., soit une croissance de 45,8 % ;
Longueur moyenne des tiges témoins : 149,2 mm. ;

Longueur moyenne des tiges irradiées : 84,5 mm., soit une croissance de 56,6 %.

**Expérience 211.** — 80 lentilles de 5 mm. de longueur de racine sont divisées en quatre lots, deux lots reçoivent 450 R. L'un d'eux est cultivé, avec un lot témoin, à la lumière ; l'autre est placé à l'obscurité avec le second lot témoin. Onze jours après l'irradiation, les moyennes et les % de croissance ont été les suivants :

*Lentilles cultivées, à la lumière, après irradiation* :

Longueur moyenne des racines témoins : 119,4 mm. ;
Longueur moyenne des racines irradiées : 32,3 mm., soit une croissance de 27,0 % ;
Longueur moyenne des tiges témoins : 106,1 mm. ;
Longueur moyenne des tiges irradiées : 43,1 mm., soit une croissance de 40,5 %.

*Lentilles cultivées, à l'obscurité, après irradiation* :

Longueur moyenne des racines témoins : 110,7 mm. ;
Longueur moyenne des racines irradiées : 30,4 mm., soit une croissance de 27,4 % ;
Longueur moyenne des tiges témoins : 121,3 mm. ;
Longueur moyenne des tiges irradiées : 37,6 mm., soit une croissance de 31,0 %.

Les résultats de ces expériences mettent en évidence que, pour les racines, la présence ou l'absence de lumière n'influe pas sur la croissance, et que la manifestation de la lésion est la même lorsque les plantes sont cultivées après l'irradiation, à la lumière ou à l'obscurité. Ainsi, dans l'expérience 210, le % de croissance est de 44,8 pour les plantes cultivées à la lumière, alors qu'il est de 45,8 pour celles qui ont poussé à l'obscurité. Quant aux tiges, dont l'accroissement est plus rapide à l'obscurité qu'à la lumière, l'établissement du % de croissance, par rapport aux témoins, montre que l'augmentation de la vitesse de développement n'influe cependant pas nettement sur la manifestation de la lésion.

Je suis ainsi amenée à conclure que la culture des plantes, à l'obscurité, ou à la lumière, après l'irradiation ne modifie pas la manifestation de la lésion ; la lumière ne doit donc pas être considérée comme un facteur susceptible de modifier la manifestation de la lésion.

### C. — Action de divers agents chimiques.

Nadson et Zolkevie (154) ont publié, en 1925, que l'action de l'iodure de potassium en solution à 10 % diminue ou même annule

totalement l'action du radium sur la plante ; de même, le chlorure de potassium, à cette même concentration, diminue l'effet nocif des rayons X sur les cellules de levure ; le chlorure de sodium ne possède pas cette action. Les auteurs attribuent au potassium l'effet favorable des sels de ce métal. Il faut remarquer que N a d s o n et Z o l k e v i e étayent leurs conclusions sur un très petit nombre d'expériences renfermant un nombre très restreint d'objets.

J'ai entrepris des expériences sur l'action de ces divers milieux, afin de voir s'ils agissaient réellement sur la manifestation de la lésion. Dans ce but j'ai fait les expériences suivantes :

**Expérience 212.** — 40 lentilles, gonflées durant 4 heures entre deux feuilles de coton humide, sont irradiées avec 40 H, puis mises en germination, les unes dans du coton imprégné d'eau, les autres dans du coton imprégné d'une solution de 0,1 % de chlorure de potassium. On constitue également deux lots témoins que l'on place dans les mêmes conditions que les deux lots irradiés.

Les plantes sont ensuite cultivées toutes ensemble sur eau. Onze jours après irradiation, les moyennes et % de croissance ont été de :

*Lentilles gonflées dans l'eau* :

Longueur moyenne des racines témoins : 138,0 mm. ;

Longueur moyenne des racines irradiées : 13,7 mm., soit une croissance de 9,9 %.

*Lentilles gonflées dans le chlorure de potassium* :

Longueur moyenne des racines témoins : 128,0 mm. ;

Longueur moyenne des racines irradiées : 13,6 mm., soit une croissance de 10,6 %.

**Expérience 213.** — 45 lentilles reçoivent 200 H à l'état sec. On les divise ensuite en trois lots. Un premier lot est mis en germination entre deux feuilles de coton imbibé d'eau. Les deux autres lots sont placés en gonflement entre deux feuilles de coton imbibé d'une solution de chlorure de potassium à 1 %, pour un lot, et d'une solution de chlorure de sodium à 1 %, pour l'autre lot. Ce traitement a duré 20 heures, les graines ont ensuite été placées dans du coton imprégné d'eau jusqu'à l'apparition du germe, puis les plantes ont été cultivées sur eau pendant dix jours. J'ai mesuré, à ce moment, la longueur des racines et des tiges de chaque lot ; les résultats ont été les suivants :

*Lentilles gonflées dans l'eau* :

Longueur moyenne des racines : 49,8 mm. ;

Longueur moyenne des tiges : 36,3 mm.

*Lentilles gonflées dans une solution de chlorure de potassium à* 1 % :
Longueur moyenne des racines : 55,3 mm. ;
Longueur moyenne des tiges : 38,4 mm.

*Lentilles gonflées dans une solution de chlorure de sodium à* 1 % :
Longueur moyenne des racines : 52,2 mm. ;
Longueur moyenne des tiges : 35,5 mm.

On voit que, dans ces expériences, le chlorure de potassium n'a pas modifié la manifestation de la lésion, cette dernière étant à peu près la même dans les divers lots irradiés. Je conclurai donc que le potassium ne diminue ni ne guérit la lésion créée à une plante par les rayons X de 0,13 à 0,25 U. Å.

## D. — Action du traumatisme ou d'une lésion différente de celle des rayons X.

### 1. — Historique.

Des expériences que j'ai entreprises, à ce sujet, ont eu pour but de rechercher, dans quelle proportion la manifestation de la lésion se produisant, chez la plante, après l'action des rayons X, était augmentée par l'effet d'un agent lésant autre que les rayons.

Jungling, en 1924 (103), a constaté que des germes de Vicia faba irradiés, puis placés à l'étuve à 30°, apparaissent plus lésés que des germes cultivés à une température de 23°. L'auteur conclut « à la sommation de deux influences nocives » : l'irradiation et la chaleur.

Nadson et Zolkevie (154) ont étudié l'action du sulfate de cuivre, de l'iode et d'autres réactifs sur des plantes préalablement irradiées, ils admettent que la diminution de croissance traduit une lésion qui est « la sommation des actions défavorables des deux facteurs » : l'irradiation et les agents toxiques.

Bolaffio (37) a soumis à l'action des rayons X des germes de fèves qu'il a ensuite argentés. L'accroissement ultérieur de ces plantes a été tel que l'auteur en conclut à l'obtention de deux lésions, dont chacune a ses caractères propres, et dont les effets s'additionnent sans s'influencer mutuellement.

Les expériences que j'ai réalisées (22) ont montré, grâce à des mesures précises, qu'une lésion, créée secondairement chez une plante après l'irradiation, engendre une manifestation de lésion beaucoup plus grande que celle résultant d'une simple addition d'effet.

## 2. — Recherches personnelles.

J'ai employé comme facteur de lésion soit une mutilation (section des racines) soit une dessiccation de la plante au début de la germination.

### α) *Techniques.*

Mutilation. — La technique consistait à irradier un certain nombre de lentilles (40 en général) de même longueur de racine, de 12 mm. par exemple, et à les diviser ensuite en deux lots ; l'un était laissé tel quel, les racines de l'autre étaient coupées en leur milieu. Les plantes étaient mises en culture sur eau avec deux lots témoins ; l'un était normal, de même longueur de racine que les irradiés, de 12 mm. par exemple, l'autre avait ses racines coupées comme le lot irradié mutilé. Après un certain laps de temps, je mesurais la longueur des tiges et calculais le % de croissance par rapport aux témoins normaux.

Dessiccation. — La technique était établie d'une façon similaire. On constituait quatre lots, un lot témoin formé de graines sèches un lot témoin de graines desséchées pendant quatorze jours après germination, un lot de graines irradiées au début de la germination et mis aussitôt en activité, enfin un lot de graines irradiées au début de la germination, desséchées pendant quatorze jours, puis remises ensuite en développement. Les irradiations ont été faites de telle sorte que toutes les plantes ont été mises en culture en même temps et dans les mêmes conditions ; elles ont été mesurées toutes ensemble, un même jour après la mise en activité.

### β) *Résultats.*

Les résultats de ces deux séries d'expériences sont consignés dans le Tableau XXVII. J'ai mentionné la nature de la plante et le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, la nature de la lésion secondaire, le jour de la mesure, la dose de rayons appliqués, faisant figurer dans cette colonne l'état des divers lots témoins et irradiés, j'ai indiqué par la lettre « N » les plantes normales, par la syllabe « Mu » les germes mutilés et par « Dess » les plantes desséchées. J'ai noté, dans les colonnes suivantes, la moyenne de longueur des tiges des divers lots et leur % de croissance par rapport aux tiges des témoins normaux. J'ai calculé, enfin, la différence de croissance en % entre les témoins et les irradiés, afin de voir, si elle était sensiblement la même ou notablement différente.

L'examen des résultats contenus dans ce Tableau met en évidence, pour les plantes irradiées et mutilées ou irradiées et desséchées, une manifestation de lésion supérieure à la sommation des deux effets

# TABLEAU XXVII

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Lésion secondaire | Jour de mesure | Doses (en R) | Tiges | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) | Différence entre la croissance des témoins et des irradiés |
| 214 | Lentilles | 80 | 12 | section rac. | 17 | témoins N. | 108.3 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Mu. | 95.6 | 88.3 | 11.7 |
| | | | | | | 700 N. | 48.5 | 44.8 | — |
| | | | | | | 700 Mu | 29.9 | 27.6 | 17.2 |
| 215 | Lentilles | 80 | 12 | section rac. | 10 | témoins N. | 84.0 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Mu. | 77.0 | 91.5 | 8.5 |
| | | | | | | 300 N. | 67.2 | 79.9 | — |
| | | | | | | 300 Mu. | 46.5 | 55.3 | 24.6 |
| 216 | Lentilles | 80 | 18 | section rac. | 13 | témoins N. | 143.1 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Mu. | 129.5 | 90.4 | 9.6 |
| | | | | | | 700 N. | 56.2 | 39.3 | — |
| | | | | | | 700 Mu. | 32.8 | 22.9 | 16.4 |
| 217 | Lentilles | 80 | 15 | section rac. | 13 | témoins N. | 130.9 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Mu. | 124.3 | 94.9 | 5.1 |
| | | | | | | 450 N. | 67.2 | 51.3 | — |
| | | | | | | 450 Mu. | 49.6 | 37.9 | 13.4 |
| 218 | Lentilles | 80 | 2 | dessiccation | 11 | témoins N. | 147.7 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Dess. | 103.0 | 69.7 | 30.3 |
| | | | | | | 700 N. | 86.7 | 58.6 | — |
| | | | | | | 700 Dess. | 34.7 | 23.4 | 35.2 |
| 219 | Blé | 160 | 2 | dessiccation | 10 | témoins N. | 190.9 | 100 | — |
| | | | | | | témoins Dess. | 163.0 | 85.4 | 14.6 |
| | | | | | | 700 N. | 110.7 | 58.0 | — |
| | | | | | | 700 Dess. | 34.3 | 17.9 | 40.1 |

lésants produits séparément. Dans l'expérience 215 par exemple, la section des racines a ralenti le développement de la tige ; la différence de croissance entre les témoins normaux et mutilés est de 8,5. S'il y avait simple addition d'effet, la même différence devrait se retrouver entre les lots irradiés normaux et irradiés mutilés ; il n'en est rien, la différence d'accroissement est de beaucoup plus forte, puisqu'elle est, dans cette expérience, de 24,6. Cet essai montre donc que, lorsqu'une plante a été lésée par les rayons X, et qu'elle subit, dans son évolution ultérieure, une lésion secondaire, l'effet lésant obtenu n'est pas le résultat de la sommation des deux lésions. La cumulation des deux lésions se fait de telle sorte qu'elles réagissent l'une sur l'autre, et que l'effet total obtenu dépasse d'une manière très sensible une simple addition d'effets.

Les diverses expériences de mutilation ou de dessication que j'ai réalisées à ce sujet et que relate le Tableau ont donné des résultats de même sens. Il s'ensuit que dans l'expérimentation de l'action des rayons X, faite sur les plantes, il est nécessaire d'éviter de léser les germes, afin de ne pas introduire un facteur de lésion supplémentaire, susceptible de modifier, dans des proportions notables, les résultats de l'expérience.

Je suis ainsi amenée à conclure, à la différence des auteurs, qu'une lésion, créée chez une plante secondairement à celle des rayons X, produit une manifestation de lésion de beaucoup supérieure à celle qui devrait résulter d'une simple sommation des deux effets lésants.

**Conclusions** : L'étude que j'ai entreprise sur l'influence de divers facteurs extérieurs sur la manifestation des lésions a mis en évidence que, pour une même lésion, la manifestation varie avec les conditions dans lesquelles la plante se trouve placée après l'irradiation. *La manifestation ne traduit donc pas exactement la lésion.* Ainsi apparaît-il nécessaire, dans une étude de l'action des rayons X sur les végétaux, d'éviter le plus possible les perturbations extérieures, et de n'effectuer des comparaisons qu'à l'intérieur d'une même expérience.

## II. — ÉTUDE DE LA LATENCE ACTIVE.

### 1. — Historique.

On entend par latence, l'intervalle de temps qui s'écoule entre l'irradiation et la manifestation tangible de la lésion. Jungling a dénommé latence active celle qui se produit chez des êtres ou des organes en activité cellulaire. La plupart des auteurs admettent, en effet, qu'après l'action des rayons, l'effet lésant n'est pas immédiate-

ment visible, la lésion demeurant latente pendant un certain temps. Perthes (161) remarque ainsi qu'après avoir appliqué sur la peau la dose épilatoire, les poils continuent d'abord à croître pour ne tomber qu'après trois semaines. En ce qui concerne les végétaux, Körnicke (107) écrit, en 1904, « l'action nocive ne se manifeste pas tout de « suite après irradiation. Il semble même que l'action des rayons « soit tout d'abord suivie d'une excitation analogue à celle qui se « fait quand on lèse légèrement une plante. Le moment où apparaît « le retard de croissance dépend de l'objet et de son état physiologique « au moment de l'irradiation ».

En 1910, Casemir (41) soumit des fèves gonflées à l'action de fortes doses de rayons atteignant au minimum 200 H. La durée de l'irradiation était pour le moins de deux heures et demie. L'auteur constata, chez les irradiés, soit l'absence totale de mitoses, soit la présence de mitoses anormales et cela aussitôt après l'irradiation. Casemir en conclut que « la dégénérescence des cellules est appa- « rue sans période de latence puisqu'on ne retrouve plus de division « immédiatement après l'irradiation ».

Cependant l'existence d'un temps de latence a été généralement admis. La plupart des auteurs, que j'ai déjà eu l'occasion de citer précédemment au chapitre II dans l'étude de l'action biologique des doses moyennes et fortes de rayons X, reconnaissent que la lésion ne se manifeste nettement qu'après une période plus ou moins longue d'accroissement. Certains d'entre eux, comme Jungling et Bolaffio, ajoutent même que la période latente est d'autant plus courte que la dose est plus forte.

F. Weber (227) a recherché si la lésion créée par les rayons X se manifestait immédiatement après l'irradiation par des variations de la viscosité du protoplasme, les modifications intérieures du protoplasme vivant se faisant, en effet, sentir par des changements de la viscosité. Dans les expériences qu'il fit sur les spirogyres, sur la tige épicotylée de Phaseolus multiflorus, sur la coiffe de la racine de Vicia faba, il n'obtint une augmentation de la viscosité du protoplasme que 20 à 48 heures après l'irradiation. Il n'y a donc pas eu d'effet primaire immédiat.

On a cherché à expliquer ce phénomène de latence,

Pour Heinecke (81), les rayons X agissent surtout sur le noyau en détruisant la faculté reproductrice de la cellule ; il en conclut que la latence dépend de la vie naturelle des cellules d'un tissu. Ce serait la période comprise entre la destruction de la propriété de mitoser et la mort de la cellule irradiée.

Pordes, en 1923 (168), a émis l'hypothèse que la vie et la fonction de la cellule sont conditionnées par l'intégrité de sa structure fine ; le degré de stabilité de la structure mesure la sensibilité ; plus la structure est stable, plus la radiosensibilité est faible. Pordes en déduit que s'il en est ainsi, la grandeur de la latence est inversement proportionnelle à la sensibilité ; en conséquence, la radiolésion apparaîtra d'autant plus vite que la sensibilité sera plus intense.

Jungling (102) admet plus simplement que « la latence n'est pas une propriété biologique curieuse de l'effet des rayons X ; elle ne doit son existence qu'à notre pouvoir limité d'investigation. En fait, il y a réaction dès qu'il y a irradiation, mais nous ne la saisissons pas immédiatement ».

L'exposé de cet historique a donc mis en évidence les faits principaux suivants :

1° La lésion créée par les rayons X chez un être vivant ne se manifeste à nous qu'après un certain temps, quelles que soient les méthodes employées pour la rechercher, morphologiques ou physico-chimiques.

2° La durée de la latence diminue avec l'élévation de la dose.

3° La durée de la latence est inversement proportionnelle à la sensibilité.

## 2. — Recherches personnelles.

Mon étude sur la latence active a été faite à l'aide de recherches d'ordre macroscopique et microscopique.

### α) *Étude macroscopique.*

Mes essais ont été faits sur des oignons. Toutefois, avant de les décrire, je tiens à signaler que, dans les nombreuses expériences que renferme ce travail, la lésion produite par les rayons n'est jamais apparue immédiatement après l'irradiation. Les mesures de longueur que j'ai effectuées sur la croissance des germes irradiés ont, en effet, toujours montré que le retard ou l'arrêt d'accroissement ne se manifestaient qu'après une période plus ou moins longue d'activité cellulaire. C'est ainsi que des graines sèches ayant reçu 500 H ou 1000 H et mises ensuite en germination n'accusent nettement une diminution de vitalité que le second jour après l'apparition du germe. A ce moment, les haricots irradiés avec 1000 H mesuraient 24,7 mm. de longueur de germe, alors que les témoins atteignaient 35,5 mm. Le premier jour, au contraire, les irradiés et les témoins étaient à peu près semblables, les longueurs de germe étant respectivement de 23 et 26 mm. De même, les graines, soumises germées à l'action d'une

très forte dose de rayons, se sont toujours développées quelque peu après l'irradiation, que celle-ci ait été pratiquée sur des germes de 2 ou 10 mm. (Tableau XV, chapitre II). Pour des doses faibles, qui lèsent peu la plante, la lésion ne se marque nettement sur les racines qu'un certain nombre de jours après l'irradiation, comme le montre, par exemple, l'expérience 57 (Tableau XII) faite sur des haricots et l'expérience 197 (Tableau XXV) effectuée sur des lentilles. On voit, en effet, que quatre jours après l'irradiation, les haricots irradiés étaient semblables aux témoins (101,7 % de croissance) ; au septième jour, on aperçoit une lésion, la croissance n'étant que de 62,7 %, de celle des témoins. Il en est de même pour les lentilles irradiées sèches avec 40 H.

J'ai entrepris, sur des racines d'oignons, des expériences qui ont été conduites de la façon suivante :

Des oignons sont placés sur des fioles coniques remplies d'eau, dans lesquelles ils développent leurs racines. Lorsque celles-ci ont atteint 30 à 40 mm. de longueur, on constitue plusieurs lots d'oignons ; les uns servent de témoins, les autres sont irradiés, les racines reposant sur du coton humide, ainsi qu'il est indiqué dans le chapitre des techniques.

Les mensurations de croissance ont porté sur une ou deux racines pour chaque oignon. Pour reconnaître ces racines, j'ai sectionné, avant l'irradiation, celles dont l'accroissement ne devait pas être suivi. Les mesures ont eu lieu chaque jour, afin de saisir le moment où la lésion se manifestait nettement. Les résultats ont été donnés dans le Tableau XIX du chapitre II. Je rappellerai que j'y ai mentionné le nombre d'objets utilisés dans l'expérience décrite, la dose de rayons appliquée, et la moyenne de l'augmentation de croissance journalière après l'irradiation, c'est-à-dire qu'ayant mesuré, chaque jour, la longueur des racines de chaque lot, j'ai établi chaque fois la moyenne de croissance. C'est la différence des moyennes d'un jour à l'autre qui figure dans le Tableau. Ainsi, dans l'expérience 121, par exemple, les témoins possédaient, au moment de l'irradiation, une moyenne de croissance de 42,2 mm. ; le jour suivant l'action des rayons, la moyenne était devenue 50,4 mm. L'augmentation d'accroissement a donc été 8,2 ; le second jour, la moyenne de longueur des racines témoins était 58,5, soit un accroissement pour ce jour de 8,1 mm..... J'ai reproduit ce calcul pour tous les lots d'oignons irradiés et témoins.

Les expériences relatées dans ce Tableau montrent que la diminution de croissance n'apparaît nettement que deux ou trois jours après l'irradiation pour les doses moyennes et fortes. Pour des doses très

faibles, la diminution de croissance n'apparaît nettement que plus tard.

De ces expériences, il ressort donc avec certitude que macroscopiquement la lésion produite, chez une plante, par les rayons X, ne se manifeste à nous qu'après un certain temps de latence.

β) *Étude microscopique.*

Mes essais ont été faits également sur des oignons. J'ai recherché, si des observations microscopiques, pratiquées après l'irradiation, permettraient de saisir une manifestation précoce de la lésion.

Dans ce but, des lots d'oignons ont été soumis à l'action des rayons, alors qu'ils avaient 30 à 40 mm. de longueur de racine. Après l'irradiation, les racines ont été sectionnées et fixées dans le formol picrique à des moments différents, exactement notés. Elles ont ensuite été incluses dans la paraffine, coupées au microtome et colorées. Les observations microscopiques, pratiquées sur ces coupes, ont mis en évidence un certain nombre de faits, sur lesquels je me suis étendue au chapitre II.

En ce qui concerne la latence, je rappellerai que :

1° On ne décèle rien d'anormal dans une racine coupée immédiatement après l'irradiation, même après l'application de doses léthales. C'est ainsi qu'une racine ayant reçu 450 R, dose mortelle, ne montre rien d'anormal pendant l'heure qui suit l'irradiation.

2° La diminution du nombre des mitoses est d'autant plus rapide que la dose de rayons appliquée a été plus forte. Une racine ayant reçu 450 R montre une diminution nette du nombre des mitoses une heure et demie après l'irradiation alors qu'une racine soumise à l'action de 1000 R, accuse déjà une diminution trente minutes après l'irradiation.

Il est logique de penser que l'application d'une dose plus forte entraînerait une diminution plus rapide encore du nombre des mitoses, et que, dans ce cas, il serait possible de la déceler immédiatement après l'action des rayons. Il n'y aurait plus, dès lors, période de latence comme C a s e m i r l'a signalé. Mais pour obtenir de telles doses, il est nécessaire, avec les appareils dont on dispose dans les laboratoires, de prolonger longtemps l'irradiation, ce qui permet à la réaction biologique de se manifester.

Les observations macroscopiques et microscopiques que j'ai réalisées me conduisent à conclure que la lésion créée dès l'irradiation par les rayons X ne se manifeste à nous qu'après une certaine période plus ou moins longue d'activité cellulaire ; plus la dose de rayons

est élevée, plus la réaction biologique apparaît rapidement. Il est vraisemblable, comme le suppose Jungling, que cette réaction suit immédiatement la lésion, mais elle ne nous est pas immédiatement perceptible. Si nous avions des tests très fins de la manifestation des lésions, nous serions vraisemblablement amenés à constater que la latence active n'existe pas.

## III. — ÉTUDE DE LA LATENCE PASSIVE.

### 1. — Historique.

La latence passive s'observe chez des êtres en vie ralentie. On pourrait la définir, en accord avec Jungling : l'intervalle de temps qui sépare l'irradiation de la réaction biologique, cette dernière ne commençant qu'avec la mise en activité cellulaire. Divers auteurs ont cherché à la mettre en évidence ; ils se sont, en outre, demandé s'il était possible de la prolonger à volonté sans la modifier. Une graine irradiée sèche garde, en latence passive, la lésion qui lui a été faite par les rayons X, et cela tant qu'elle n'est pas mise en germination. Dès la reprise de l'activité cellulaire commence la réaction biologique, qui ne se manifeste à nous qu'après une certaine période de latence active. La question se pose de savoir, si une telle graine peut demeurer longtemps en latence passive, et si, dans ces conditions, la lésion qui lui a été faite persiste intégralement.

Guilleminot, en 1910 (74), entreprit le premier l'expérience suivante : il irradia des graines sèches, en mit la moitié en germination immédiatement après l'action des rayons ; la seconde moitié fut cultivée deux ans plus tard. L'auteur trouva que l'action nocive de l'irradiation demeurait, après deux ans de repos, semblable à ce qu'elle était au début.

F. Weber, en 1923 (227), conserva des graines irradiées de un à cinq mois, puis les mit en germination. Il observa le même retard de croissance pour tous ces objets. Il remarqua, en outre, que la durée de la période de latence passive n'agissait pas sensiblement sur la durée de la latence active.

Jungling (102) écrit que des graines sèches peuvent conserver longtemps leur lésion ; elles ne la manifestent qu'au moment de la germination.

J'ai effectué, en 1925 (18), un certain nombre d'expériences montrant que la lésion créée par les rayons se conservait entière longtemps après l'irradiation. Il est donc possible de reculer à volonté la manifestation de la lésion ; pour la déclancher, il suffit de mettre la plante en état de vie active.

*

Des expériences réalisées par I v e n (96), à cette époque, ont fourni à cet auteur des résultats identiques.

B o l a f f i o, en 1925 (37), mit en vie latente des germes de Vicia faba préalablement irradiés. Il les maintint sur de la glace pendant 135 jours. Ce temps écoulé, les graines qui s'étaient conservées (beaucoup étant pourries) furent remises en vie active. B o l a f f i o obtint pour ces plantes une croissance aussi amoindrie que pour les germes mis en culture aussitôt après l'irradiation. Ce fait prouve également que la lésion produite par les rayons X se conserve toute entière ; chez un organisme en vie latente, elle n'apparaît qu'avec la manifestation de la vie.

### 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites sur des flageolets secs et des lentilles gonflées 24 heures dans l'eau. Une partie des plantes irradiées étaient mises en culture aussitôt après l'action des rayons ; l'autre partie était conservée et mise en germination plusieurs mois après l'irradiation. Les graines irradiées gonflées ont été à nouveau séchées puis conservées. Chaque expérience comprenait un nombre de témoins égal à celui des plantes irradiées ; ils ont été placés dans les mêmes conditions que les graines irradiées. Le Tableau XXVIII donne les résultats des expériences réalisées. J'y ai mentionné la nature de la plante utilisée, le nombre d'objets employés, l'état de la graine au moment de l'irradiation, la dose de rayons appliquée, le jour de la mesure et l'organe mesuré. Le Tableau indique ensuite l'époque de la mise en germination après l'irradiation (durée de la latence passive) et la croissance des plantes irradiées. J'ai tout d'abord appliqué des doses léthales ne permettant qu'un faible accroissement de la plante ; j'ai noté, dans ce cas, la limite de croissance atteinte par les germes. Dans d'autres expériences, j'ai mesuré la longueur des racines, tiges, radicelles et ai établi le % d'accroissement par rapport aux témoins.

On voit, dans ce Tableau, que les plantes ont conservé intacte la lésion faite par les rayons X, puisque immédiatement, comme longtemps après l'irradiation, la manifestation de la lésion a été de même intensité dans des conditions et une durée de culture sensiblement identiques.

**Conclusion:** La lésion créée par les rayons X de 0,13 à 0,25 U. Ä. à une plante en vie ralentie demeure latente tant que l'activité cellulaire n'a pas repris ; l'intensité de cette lésion n'augmente ni ne décroît, elle reste semblable à ce qu'elle était immédiatement après l'irradiation.

# TABLEAU XXVIII

| Expériences | Plantes | Nombre d'objets | État des graines au moment de l'irradiation | Doses (en H) | Jour de mesure | Organes mesurés | Durée de la latence passive (en mois) | Limite de croissance (en mm.) | % de croissance (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 220 | Haricots verts | 80 | sec | 200 | — | Racines et hypocotyles | 0 | 41.1 | — |
| | | | | | | | 1 | 39.0 | — |
| 221 | Haricots verts | 120 | sec | 200 | — | Racines et hypocotyles | 0 | 38.5 | — |
| | | | | | | | 4 | 37.0 | — |
| | | | | | | | 8 | 36.0 | — |
| 222 | Haricots verts | 100 | sec | 190 | — | Racines et hypocotyles | 0 | 40.0 | — |
| | | | | | | | 8.5 | 35.2 | — |
| 223 | Haricots verts | 100 | sec | 100 | 8 | Racines | 0 | — | 48.8 |
| | | | | | | | 9.5 | — | 52.2 |
| 224 | Lentilles | 120 | gonflé 24 h. | 20 | 16 | Racines | 0 | — | 43.6 |
| | | | | | | | 1 | — | 40·7 |
| 225 | Lentilles | 50 | gonflé 24 h. | 40 | 10 | Racines, | 0 | — | 9.9 |
| | | | | | | tiges, | 0 | — | 10.9 |
| | | | | | | radicelles | 0 | — | 0.14 |
| | | | | | 10 | Racines, | 2 | — | 9.0 |
| | | | | | | tiges | 2 | — | 12.2 |
| | | | | | | radicelles | 2 | — | 0.08 |

## IV. — ÉTUDE DE LA DOSE DISPERSÉE.

### 1. — Historique.

Cette étude consiste à rechercher, si l'application d'une quantité déterminée de rayons a produit, dans un tissu vivant, la même manifestation de lésion qu'elle soit donnée en un temps court, par un rayonnement intense, ou en un temps plus long, par une irradiation de plus faible intensité. Cette question, intéressante au point de vue théorique, présente, en outre, une certaine importance, au point de vue pratique, car elle est à la base du mode d'application des radiations en thérapeutique.

Krönig et Friedrich, en 1918 (125), ont constaté, pour les rayons X, qu'une dose de 230 E, appliquée en 691 minutes avec une faible intensité, produit sur l'abdomen une rougeur beaucoup plus faible que la même dose donnée en 86 minutes avec une forte intensité.

Matoni (143) a obtenu, sur les plantes, des résultats de même sens. Ses expériences ont été faites sur des graines de Vicia faba germées ; les mesures ont été pratiquées sur les racines. Ayant constaté, par des mesures ionométriques précises, que, dans les conditions d'irradiation où il s'était placé, l'intensité décroissait bien avec le carré de la distance, il varia l'intensité en modifiant la distance objet-anticathode et régla la durée d'irradiation, de façon à obtenir une dose égale dans tous les cas. Il remarqua que, pour une même quantité de rayons, les plantes soumises à une irradiation quatre fois plus longue, montrèrent toujours une croissance bien plus grande que les germes irradiés en un temps plus court, les mesures d'accroissement étant faites sur les racines. Il est ainsi démontré, dit-il, que la loi de Bunsen « l'effet de la lumière est le même pour un « produit (intensité × temps) constant » n'est pas valable en ce qui concerne l'effet biologique des rayons X. Lorsqu'on augmente le temps d'irradiation en diminuant l'intensité, l'effet biologique diminue.

Wintz (238), sur la peau, Holthusen (89), sur des œufs d'Ascaris, Pauli et Sulger (158), sur des bactéries, ont obtenu des résultats de même sens : la dose donnée avec la plus faible intensité en un temps plus long est moins lésante que la dose appliquée en un temps plus court et avec une plus forte intensité.

Glocker, Rothacker et Schönleber (70) admettent, au contraire, que la loi de Bunsen est valable pour des intensités variant de 1 à 10. Ils ont expérimenté sur Vicia faba, chaque essai

renfermant dix graines. Ils écrivent qu'en diminuant l'intensité d'une grandeur déterminée et en prolongeant la durée d'irradiation dans le rapport inverse, l'effet biologique ne varie pas. Ils ont fait, à ce sujet, deux séries d'expériences. Dans une première série d'essais, ils affaiblissent l'intensité des rayons X en diminuant l'ampérage : l'étincelle équivalente et la distance objet-anticathode restant constantes. Dans une autre série d'expériences, ils augmentent la distance objet-anticathode sans changer le rayonnement X. Les auteurs signalent que les effets lésants ont été identiques dans leurs différents essais.

De même, pour M a v o r (144), la durée d'irradiation ne joue aucun rôle, si le produit intensité × temps demeure constant.

Les expériences que j'ai réalisées, sur des lentilles (23), ont montré, au contraire, que l'augmentation du temps d'irradiation avec diminution de l'intensité se traduit par une très nette et très constante diminution de l'effet des rayons.

## 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites sur des lentilles germées ; elles ont comporté deux séries d'essais :

α) *Influence des variations de la distance objet-anticathode.*

Dans la première série d'expériences, les lentilles ont été soumises à l'action des rayons à une distance objet-anticathode variable, le milliampérage restant constant. Les expériences étaient conduites de la manière suivante : Des lentilles de même longueur de racine sont divisées en trois ou quatre lots. L'un sert de témoin, les autres sont irradiés avec la même dose mais à une distance de l'anticathode variable suivant les lots et pendant des temps également variables. Le milliampérage est resté le même dans toutes les irradiations d'une même expérience : 2,5 ou 3 milliampères suivant les essais. Les mesures de doses ont toujours été faites à l'ionomètre de S o l o m o n pendant l'irradiation. 14 jours plus tard, j'ai mesuré la longueur des racines et établi la moyenne de croissance de chaque lot.

Les résultats sont relatés dans le Tableau XXIX. J'y ai mentionné le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, la dose de rayons appliquée, le nombre de milliampères, la distance objet-anticathode, la durée de l'irradiation et la moyenne de croissance des divers lots. La dernière colonne indique la différence de croissance existant entre les lots irradiés pendant des temps différents (distance objet-anticathode variable).

De l'examen de ce Tableau ressort le fait que, plus le temps d'irradiation est long, plus l'effet biologique est faible. L'expérience 228

# TABLEAU XXIX

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Nombre de milliampères | Distance : objet-anticathode (en cm.) | Durée de l'irradiation (en min. et sec.) | Doses (en R) | Racines | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | Différence de croissance entre les lots irradiés (en mm.) |
| 226 | 60 | 7 | 2.5 | 20 | 3-18 | 415 | 51.4 | — |
| | | | 2.5 | 80 | 45 | 415 | 81.6 | 30.2 |
| 227 | 90 | 7 | 2.5 | 23.6 | 2-54 | 415 | 25.0 | — |
| | | | 2.5 | 76.1 | 36-54 | 415 | 42.8 | 17.8 |
| 228 | 160 | 7 | — | — | — | témoins | 121.4 | — |
| | | | 2.5 | 20 | 2 | 415 | 36.5 | — |
| | | | 2.5 | 40 | 10 | 415 | 49.1 | 12.6 |
| | | | 2.5 | 80 | 45-30 | 415 | 63.1 | 26.6 |
| 229 | 90 | 2 | — | — | — | témoins | 125.6 | — |
| | | | 2.5 | 20 | 2-20 | 450 | 76.2 | — |
| | | | 2.5 | 80 | 53-45 | 450 | 91.6 | 15.4 |
| 230 | 120 | 10 | — | — | — | témoins | 104.5 | — |
| | | | 3 | 20 | 2-39 | 450 | 41.6 | — |
| | | | 3 | 40 | 14-9 | 450 | 51.7 | 10.1 |
| 231 | 90 | 1 | — | — | — | témoins | 128.3 | — |
| | | | 3 | 20 | 2-36 | 450 | 80.1 | — |
| | | | 3 | 40 | 11-14 | 450 | 102.3 | 22.2 |
| 232 | 90 | 9 | — | — | — | témoins | 135.6 | — |
| | | | 3 | 20 | 2-38 | 450 | 26.2 | — |
| | | | 3 | 40 | 11-14 | 450 | 43.8 | 17.6 |
| 233 | 90 | 15 | — | — | — | témoins | 131.0 | — |
| | | | 3 | 20 | 2-28 | 450 | 38.4 | — |
| | | | 3 | 40 | 10-40 | 450 | 46.3 | 7.9 |
| 234 | 240 | 7 | — | — | — | témoins | 145.0 | — |
| | | | 2.5 | 20 | — | 400 | 56.4 | — |
| | | | 2.5 | 80 | — | 400 | 86.1 | 29.7 |
| | | | 2.5 | 20 | — | 200 | 105.4 | — |
| | | | 2.5 | 80 | — | 200 | 112.4 | 7.0 |
| 235 | 120 | 10 | — | — | — | témoins | 116.6 | — |
| | | | 2.5 | 15 | 0-54 | 400 | 58.4 | — |
| | | | 2.5 | 35 | 8-33 | 400 | 69.1 | 10.7 |
| | | | 2.5 | 75 | 59-30 | 400 | 79.8 | 21.4 |

le met, en effet, bien en évidence. Le lot irradié à 20 cm. en 2 minutes mesure 36,5 mm. de longueur de racine, alors que le lot, soumis à l'action des rayons, pendant 10 minutes, à 40 cm. de l'anticathode mesure 49,1 mm. et le lot irradié 45 minutes 30 secondes à 80 cm., 63,1 mm., la dose étant, dans tous les cas, de 415 R. La différence de croissance est donc de 12,6 entre les plantes irradiées pendant 2 et 10 minutes et de 26,6 mm. entre les lentilles soumises à l'action des rayons pendant 2 et 45 minutes 30 secondes. L'expérience 234 montre, au surplus, que la différence d'accroissement existant entre deux lots irradiés à 80 et 20 cm. est plus marquée pour une dose de 400 R que pour une dose de 200 R. Elle est, en effet, de 29,7 dans le premier cas, de 7,0 dans le second cas.

Toutes les expériences que j'ai réalisées et que résume le Tableau XXIX montrent donc que, pour une même dose de rayons, la prolongation du temps d'irradiation par modification de la distance objet-anticathode diminue très nettement l'effet lésant des rayons.

β) *Influence des variations du milliampérage.*

Dans la deuxième série d'essais, les lots de lentilles ont été irradiés à une distance objet-anticathode fixe : 28 cm., le milliampérage seul a varié ; on modifiait ainsi l'intensité du rayonnement X. Les expériences ont été conduites de la même manière que dans la première série d'essais en ce qui regarde le nombre de lots, le choix des graines germées et le calcul de la croissance moyenne. Les résultats des expériences sont consignés dans le Tableau XXX. J'y ai mentionné le nombre d'objets, sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, la dose de rayons appliquée, le nombre de milliampères, la durée de l'irradiation et la longueur moyenne des racines des divers lots. La dernière colonne indique la différence de croissance entre les lentilles irradiées avec des intensités différentes.

On voit, dans ce Tableau, que des différences d'intensité de 1 à 10 avec variation concomittante de la durée d'irradiation produisent des effets biologiques très différents. L'expérience 241, par exemple, montre bien ce fait. Un lot de lentilles irradiées, pendant 2 minutes 38 secondes sous 3 milliampères, mesure, quatorze jours après l'irradiation, 26,2 mm., alors que les plantes soumises à l'action des rayons, pendant 13 minutes 38 secondes sous 0,3 milliampères, atteignent 45,3 mm. de longueur de racine. La différence de croissance entre les deux lots est donc de 19,1 mm. en faveur des plantes irradiées le plus longtemps. Les autres expériences que renferme le Tableau donnent des résultats de même sens, à l'exception cependant des

deux premiers essais où l'accroissement des lots irradiés s'est montré identique ; il faut remarquer que, dans ces expériences, le milliampérage n'a varié que de un à trois ou de un à cinq et non pas de un à dix comme dans tous les autres essais.

## TABLEAU XXX

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Nombre de milliampères | Durée de l'irradiation (en min. et sec.) | Doses (en R) | Racines | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Moyenne de croissance (en mm.) | Différence de croissance entre les lots irradiés (en mm.) |
| 236 | 80 | 3 | 1 | — | 450 | 86.5 | — |
| | | | 3 | — | 450 | 86.3 | 0 |
| 237 | 120 | 7 | — | — | témoins | 155.9 | — |
| | | | 2.5 | — | 400 | 56.4 | — |
| | | | 0.5 | — | 400 | 56.4 | 0 |
| 238 | 90 | 8 | — | — | témoins | 119.8 | — |
| | | | 4 | — | 450 | 30.6 | — |
| | | | 0.4 | — | 450 | 53.5 | 22.9 |
| 239 | 120 | 10 | — | — | témoins | 104.5 | — |
| | | | 3 | 2-39 | 450 | 41.7 | — |
| | | | 0.3 | 13-26 | 450 | 50.9 | 9.2 |
| 240 | 90 | 2 | — | — | témoins | 128.3 | — |
| | | | 3 | 2-36 | 450 | 80.1 | — |
| | | | 0.3 | 13-27 | 450 | 92.2 | 12.1 |
| 241 | 90 | 9 | — | — | témoins | 135.6 | — |
| | | | 3 | 2-38 | 450 | 26.2 | — |
| | | | 0.3 | 13-38 | 450 | 45.3 | 19.1 |
| 242 | 90 | 15 | — | — | témoins | 131.0 | — |
| | | | 3 | 2-28 | 450 | 38.4 | — |
| | | | 0.3 | 11-3 | 450 | 48.7 | 10.3 |

Les deux séries d'expériences que j'ai réalisées aboutissent donc à montrer que : une même dose de rayons X, donnée en un temps long avec une faible intensité, est moins lésante pour la plante en vie active que reçue en un temps plus court avec une intensité plus forte, la diminution de l'intensité se faisant par des variations, soit de la distance objet-anticathode, soit du milliampérage. Ce phénomène peut se traduire par la loi simple suivante :

*L'étalement de la dose de rayons X dans le temps a pour effet de diminuer l'intensité de la réaction biologique.*

## V. — ÉTUDE DE LA CUMULATION DES DOSES DE RAYONS X.

### A. — Action biologique d'une même dose, appliquée en une ou en plusieurs fois.

#### 1. — Historique.

Les auteurs ont observé que l'intensité de la réaction biologique n'est pas la même, si la dose, au lieu d'être donnée en une seule fois, est appliquée en plusieurs séances. Les uns croient à un effet biologique moindre après l'application de doses fractionnées (Jungling, Arntzen et Krebs, Holthusen, S. Ancel), pour d'autres, au contraire, le fractionnement de la dose augmente l'effet lésant (Komuro, Schinz et Slotopolsky, Regaud et Ferroux). L'opinion de ces derniers paraît avoir prévalu, puisqu'en thérapeutique anti-cancéreuse, les doses, tout au moins en France, sont données par fractions.

Jungling (103) écrit, en 1924, qu'après l'application de doses fractionnées, on observe soit une cumulation de la dose dans les cas de vie latente, soit une perte de la dose dans les cas de vie active. L'auteur fit les expériences suivantes : Des graines de Vicia faba furent irradiées sèches, les unes reçurent une dose donnée en une fois, les autres en seize fois pendant cinq semaines ; l'effet lésant fut le même dans les deux cas.

Dans un autre essai, quelques fèvres germées furent placées, pendant douze heures, sur de la glace, les unes furent irradiées pendant quinze minutes ; d'autres furent soumises cinq fois à l'action des rayons pendant trois minutes chaque fois, et cela toutes les trois heures. Ces plantes ont donc été maintenues sur de la glace pendant 27 heures ; mises ensuite en développement, tous ces germes manifestèrent le même degré de lésion.

Par contre, des fèves germées reçurent la dose léthale en quatre fractions, une toutes les trois heures ; l'effet produit se montra sur la racine de 25 % plus faible qu'après l'application de la dose unique.

Arntzen et Krebs (29) ont, en 1925, expérimenté sur Pisum sativum. Ils signalent que des pois soumis à l'action de doses fractionnées ont été moins lésés que les germes ayant reçu la même dose en une seule irradiation.

Holthusen (89) a obtenu, en 1926, des résultats comparables sur des œufs d'Ascaris.

Komuro (119) soumit des graines gonflées de Vicia faba à des irradiations massives et intermittentes, il constata que l'application

de la dose fractionnée était suivie d'un effet biologique plus intense que celui de la dose unique. Le résultat de Komuro me paraît devoir être attribué au fait que l'auteur expérimente sur des graines gonflées, pour lesquelles la sensibilité aux rayons croît avec le degré d'hydratation. Il applique la dose unique et la première partie de la dose au début du gonflement ; la deuxième partie de la dose est donnée plusieurs heures après. On conçoit que la sensibilité ayant augmenté, les plantes soumises à l'action de la dose fractionnée se montrent plus lésées que les autres.

Schinz et Slotopolsky (194) ont, en 1926, trouvé sur le testicule du Lapin que le fractionnement de la dose augmente l'effet lésant.

Regaud et Ferroux (182) partagent également cette opinion.

Les expériences que j'ai réalisées sur Lens esculata (27) m'ont donné des résultats comparables à ceux de Jungling, Arntzen et Kiebs et Holthusen.

### 2. — Recherches personnelles.

Mes expériences ont été faites pour la plupart sur des lentilles germées ; quelques-unes ont cependant été effectuées sur des racines d'oignons.

α) *Recherches effectuées sur Lens esculata.*

*Technique* : La technique utilisée a été la suivante :

Des lentilles germées de même longueur de racine sont divisées en plusieurs lots renfermant trente à quarante graines chacun. Un lot sert de témoin, les autres sont irradiés. Un ou deux lots, suivant les essais, reçoivent la dose fractionnée ; celle-ci est appliquée, en deux fois, et divisée en deux parties égales. L'intervalle séparant les fractionnements a varié suivant les expériences.

La dose unique ou dose massive a été donnée à un ou deux lots. Dans les expériences où les fractionnements ont été réalisés en moins de cinq heures, elle a été appliquée à un seul lot et au milieu de l'intervalle de temps séparant les doses intermittentes. Dans les essais où les fractionnements ont eu lieu entre douze et vingt-quatre heures, la dose massive a été donnée à un premier lot, au début de l'expérience, et à un second lot, à la fin de l'expérience. La moyenne des résultats fournis par ces deux lots donne la moyenne de croissance des plantes irradiées avec la dose unique. J'ai opéré de cette manière, car la sensibilité des lentilles varie avec la taille de leurs germes, comme je l'ai montré au chapitre III ; la longueur de ces derniers ne se modifie pas sensiblement pendant trois ou quatre heures à la

température de 18°-20°, à laquelle j'ai expérimenté ; par contre, elle varie très nettement après douze et surtout vingt-quatre heures de culture, aussi m'a-t-il paru utile d'irradier deux lots avec la dose massive, l'un au commencement, l'autre à la fin de l'expérience et de prendre la moyenne de la somme des résultats.

Après irradiation, les plantes sont cultivées sur eau pendant une quinzaine de jours, puis on détermine la longueur de leurs racines et établit la moyenne de croissance des plantes de chaque lot.

*Résultats* : Les résultats sont donnés dans le Tableau XXXI. J'y ai mentionné, pour chaque expérience, le nombre d'objets qu'elle renfermait, la longueur des germes irradiés lors de la première et de la deuxième irradiation, le jour de la mesure, la moyenne de croissance des témoins, la dose, l'intervalle de temps séparant les fractionnements, la moyenne de croissance des lentilles ayant reçu la dose fractionnée, la moyenne de croissance des germes irradiés avec la dose massive et, dans les cas d'intervalle de 12 à 24 heures entre les fractionnements, j'ai indiqué la moyenne de croissance des doses uniques de début et de fin. Dans la dernière colonne du Tableau, j'ai fait figurer la différence de croissance existant entre les lots soumis à l'action des doses unique et fractionnée ; le signe + indique que cette différence est en faveur des plantes ayant reçu la dose fractionnée.

Pour mieux expliciter ce Tableau, je décrirai les expériences 245 et 250.

**Expérience 245.** — 200 lentilles de 8 mm. de longueur de racine sont divisées en cinq lots. Le lot 1 est un lot témoin ; le lot 2 reçoit 450 R au début de l'expérience ; les lots 3 et 4 sont irradiés aussitôt après avec une dose de 225 R. Vingt-quatre heures plus tard, alors que les plantes ont atteint 16 mm. de longueur de germe, on applique, à nouveau, 225 R aux lots 3 et 4. Le lot 5 reçoit immédiatement après 450 R. Les plantes ont été cultivées sur eau, puis les racines ont été mesurées quatorze jours après la dernière irradiation. Les moyennes de croissance ont été de 98,0 mm. et de 98,4 mm. pour les lots irradiés avec la dose fractionnée, de 63,9 mm. pour la dose unique de début, de 77,5 mm. pour la dose unique de fin d'expérience. La croissance des plantes irradiées avec la dose massive a donc été en moyenne de 70,7 mm. On voit que ce sont les plantes irradiées avec la dose fractionnée, qui manifestent la croissance la plus forte ; elle est, en effet, supérieure à celle des germes soumis à l'application de la dose unique de 27,3 mm. dans un cas, et de 27,7 mm., dans l'autre.

# TABLEAU XXXI

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Moyenne de croissance des témoins (en mm.) | Doses (en R) | Dose fractionnée en deux doses égales | | Dose unique : moyenne de croissance (en mm.) | | | Différence de croissance entre la dose fractionnée et la dose unique (mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Temps séparant les deux fractionnements (en heures) | Moyenne de croissance (en mm.) | Dose de début | Dose de fin | Moyenne des 2 doses uniques | |
| 243 | 200 | 3-5 | 16 | 152.1 | 450 | 12 | 87.3 | 76.4 | 62.3 | 69 | + 18.3 |
| 244 | 150 | 2-10 | 14 | 152.1 | 450 | 24 | 100.8 | 97.6 | 54.9 | 76.1 | + 24.7 |
| | | | | | 450 | 24 | 100.5 | — | — | — | + 24.4 |
| 245 | 200 | 8-16 | 14 | 161.1 | 450 | 24 | 98.0 | 63.9 | 77.5 | 70.7 | + 27.3 |
| | | | | | 450 | 24 | 98.4 | — | — | — | + 27.7 |
| 246 | 180 | 6 | 14 | 182.0 | 450 | 3 | 95.1 | — | — | 62.5 | + 32.6 |
| 247 | 80 | 6 | 14 | 181.6 | 180 | 3 | 162.7 | — | — | 149.6 | + 13.1 |
| 248 | 120 | 7 | 14 | 163.1 | 180 | 3 | 151.1 | — | — | 147.8 | + 3.4 |
| 249 | 120 | 7 | 14 | 163.1 | 450 | 3 | 103.9 | — | — | 90.8 | + 13.1 |
| 250 | 120 | 7 | 14 | 163.1 | 700 | 3 | 57.9 | — | — | 26.4 | + 31.5 |
| 251 | 120 | 5-18 | 14 | 183.9 | 200 | 24 | 146.1 | 123.2 | 154.1 | 138.6 | + 7.5 |
| 252 | 120 | 5-18 | 14 | 183.9 | 400 | 24 | 94.4 | 57.6 | 95.6 | 76.6 | + 17.8 |
| 253 | 160 | 2 | 14 | 151.8 | 450 | 1 | 106.0 | — | — | 96.3 | + 9.7 |
| 254 | 120 | 4-16 | 14 | 151.0 | 400 | 20 | 80.1 | 44.1 | 65.3 | 54.7 | + 25.4 |
| 255 | 120 | 4-16 | 14 | 151.0 | 200 | 20 | 98.6 | 79.0 | 112.1 | 95.5 | + 3.1 |
| 256 | 120 | 7 | 14 | 150.5 | 450 | 2 | 62.8 | — | — | 37.5 | + 25.3 |
| 257 | 120 | 6 | 14 | — | 450 | 3 | 37.5 | — | — | 22.2 | + 15.3 |

**Expérience 250.** — Elle a été faite sur 120 lentilles de 7 mm. de longueur de racines divisées en trois lots. Un lot servait de témoin, un deuxième lot a reçu 350 R ; une heure et demie plus tard, la dose massive (700 R) a été appliquée au lot 3 ; le lot 2 a reçu la deuxième partie de la dose (350 R) trois heures après la première irradiation. Les plantes cultivées sur eau ont été mesurées quatorze jours plus tard. La moyenne de croissance des racines de 57,9 mm., pour les lentilles soumises à l'action de la dose fractionnée, était seulement de 26,4 mm., pour les irradiées avec la dose unique, soit une différence de 31,5 mm. en faveur des plantes soumises à l'action de la dose fractionnée.

Toutes les expériences contenues dans le Tableau XXXI mettent en évidence que l'application d'une même quantité de rayons, donnée en une ou deux fois, ne détermine pas la même réaction biologique. L'effet lésant apparaît nettement plus faible après action de la dose fractionnée en deux parties égales.

β) *Recherches effectuées sur Allium Cepa.*

Des expériences, entreprises sur des racines d'oignons, ont été conduites de la façon suivante : Des oignons de 60 mm. environ de longueur de racine ont été irradiés avec une même dose donnée en une ou deux fois. Chaque jour, l'accroissement des racines a été mesuré (les racines étant au nombre de deux par oignon, les autres ayant été coupées, pour permettre des mensurations plus aisées). Les résultats ont été les suivants :

**Expérience 258.** — Quatorze oignons sont divisés en trois lots : quatre servent de témoins ; cinq autres reçoivent une dose de 115 R ; vingt-quatre heures plus tard, on leur applique, à nouveau, 115 R ; les cinq derniers oignons sont irradiés avec une dose de 230 R. Après 18 jours de croissance, les oignons soumis à l'action de la dose fractionnée s'étaient accrus de 35,6 mm. par racine, alors que l'accroissement n'était que de 25,3 mm. pour les racines du lot irradié avec la dose massive. 21 jours après l'irradiation, il a été pratiqué une dernière mensuration. Les irradiés par la dose massive n'avaient plus grandi depuis la mesure précédente à l'exception d'une racine (sur les 10 au total) ; 8 racines (sur 10) des oignons soumis à l'action de la dose fractionnée ont continué de s'accroître. A ce jour, l'accroissement était de 42,5 mm. pour les irradiés par la dose intermittente et de 26,7 mm. pour les irradiés par la dose unique.

**Expérience 259.** — Treize oignons sont divisés en trois lots. L'un sert de témoin (3 oignons). Les deux autres sont irradiés, l'un par

une dose de 230 R, l'autre par deux doses de 115 R à 24 heures d'intervalle. Quinze jours après l'irradiation, toutes les racines d'oignons soumises à l'action de la dose unique sont mortes, tandis que les 6 (sur 10) racines du lot irradié avec la dose fractionnée sont vivantes et continuent de s'accroître.

Ces deux essais ont donc fourni des faits analogues à ceux que mettent si nettement en évidence les expériences effectuées sur des lentilles.

**Conclusion**: *L'application de doses fractionnées de rayons X de* 0,13 *à* 0,25 *U. Å. à des cellules en vie active produit une réaction biologique moindre que celle de la même dose donnée en une seule fois.*

J'ai tenté de trouver le mécanisme susceptible d'expliquer ces résultats.

B. — Mécanisme de la non-cumulation des doses fractionnées.

### 1. — Historique.

Holthusen, en 1926 (89), a émis à ce sujet deux hypothèses.

*Ire hypothèse*: *Guérison de lésion.* — La première interprétation formulée par Holthusen est celle d'une réparation de la lésion. Il écrit, en effet: En ce qui concerne la lésion cellulaire directe, l'irradiation produirait la déficience d'une substance quelconque, nécessaire à la vie ; d'autre part, les effets indirects qu'elle engendre pourraient être dus à la concentration d'une substance quelconque, produite par l'action des rayons. Que l'effet de l'irradiation soit de n'importe quelle nature, direct ou indirect, il est possible d'envisager l'existence d'une deuxième réaction s'y opposant ; elle détruirait, par exemple, la substance toxique formée par l'action des rayons. On peut donc admettre que la lésion produite sera réparée, et qu'elle sera, par conséquent, d'autant plus petite que la réaction opposée sera plus longue c'est-à-dire que l'irradiation sera plus prolongée.

Deux séries de faits apparaissent à Holthusen justiciables de cette théorie. Il reconnaît avec Jungling qu'à la différence des cellules en activité, les cellules en vie latente cumulent totalement les doses. Il explique ce fait par l'incapacité de l'être au repos à réagir pendant l'irradiation. D'autre part, la réparation étant liée à la croissance, elle est d'autant plus rapide que la multiplication cellulaire est plus intense. Holthusen cite à ce sujet les expériences de Cluzet, Rochaix et Kofmann, faites avec du radium sur les bacilles typhiques et pyocyaniques. Des cultures en croissance de ces bactéries n'ont pu être tuées qu'à 0° alors que tout

développement était arrêté. D'autre part, Holthusen a appliqué des rayons X sur des cultures jeunes et vieilles de colibacille. Alors que la sensibilité aux rayons est plus grande pour les jeunes que pour les vieilles cultures, ce sont cependant ces dernières qui se sont montrées le plus lésées par des irradiations intermittentes. L'auteur explique ce résultat par une guérison de la lésion, les cellules en croissance active ont lutté plus énergiquement contre l'action des rayons que les cellules en vie plus ou moins ralentie.

*IIe hypothèse : Allergie, diminution de sensibilité consécutive à une irradiation précédente.* — La deuxième hypothèse envisagée par Holthusen est basée sur des constatations faites par Perthes après action des rayons ultra-violets sur la peau. Perthes a, en effet, montré qu'après chaque irradiation ultra-violette, la sensibilité de la peau était diminuée, l'érythème étant de plus faible intensité ou même n'apparaissant pas.

Holthusen signale que c'est l'unique réaction, pour laquelle on ait pu mettre en évidence une allergie. Il ajoute : il faut se méfier de généraliser l'existence d'une immunisation à la suite d'expériences portant sur une réaction inflammatoire, la lésion de la cellule elle-même et la réaction vasomotrice consécutive à une irradiation étant deux choses différentes.

### 2. — Théorie personnelle.

Les expériences diverses que j'ai réalisées et que je décrirai, soit dans ce chapitre, soit dans le chapitre suivant, me conduisent à penser que la non-cumulation des doses fractionnées s'explique par l'existence d'un phénomène de *radiophylaxie. Après une première irradiation, il se fait dans les cellules une réaction telle que leur sensibilité aux rayons se trouve diminuée.* Si cette manière de voir est exacte, la protection serait réalisée par une réaction cellulaire consécutive à l'action des rayons. *Il s'agirait donc d'un phénomène en relation avec l'activité du métabolisme de la cellule irradiée,* et il apparaît, dès lors, comme vraisemblable que l'intensité de cette réaction doit être soumise à l'action des facteurs qui tiennent normalement sous leur dépendance l'intensité des échanges et que, dans ces conditions, il devient nécessaire d'étudier :

1° L'action du temps écoulé entre les fractionnements ;

2° L'action de la température dans l'intervalle de temps séparant les fractionnements ;

3° L'action du mode de fractionnement de la dose.

### *a*) Action du temps écoulé entre les fractionnements.

Si l'hypothèse de la radiophylaxie est justifiée, la réaction biologique désensibilisante, qui suit l'irradiation, doit comme toute réaction organique demander un certain temps pour se réaliser le plus complètement possible. Il s'ensuit que le degré de protection doit varier avec le temps écoulé entre les fractionnements, jusqu'à ce que l'effet maximum soit obtenu.

#### α) *Technique.*

Les expériences, que j'ai entreprises à ce sujet, ont été conduites de la manière suivante : Des lentilles germées de même longueur de racine sont divisées en un certain nombre de lots de trente à quarante graines chacun. L'un d'eux sert de témoin ; pour d'autres lots la dose de 450 R a été fractionnée en deux doses de 225 R. L'intervalle de temps, séparant les deux irradiations, a varié suivant les lots. La température, à laquelle les plantes étaient placées pendant ce temps, a toujours été sensiblement la même, 20° environ. La dose unique a été appliquée sur un ou deux lots. Pour des fractionnements ne dépassant pas cinq heures, un seul lot a été irradié avec la dose massive. Lorsque les fractionnements ont été espacés de sept, neuf ou dix-huit heures, le développement des germes pendant ce temps s'accompagnant d'une variation de sensibilité, deux lots de lentilles ont été soumis à l'action de la dose unique, l'un au début de l'expérience, l'autre à la fin. Les plantes ont été ensuite cultivées ensemble, dans les mêmes conditions, pour chaque essai ; après un laps de temps déterminé, j'ai mesuré la longueur des racines de chaque lot et calculé la moyenne de croissance. La différence d'accroissement existant entre les plantes soumises à l'action des doses fractionnées et celles soumises à l'action des doses massives donne la valeur de la protection. Pour des fractionnements ne dépassant pas cinq heures, les calculs ont été établis sur la moyenne de croissance des plantes irradiées avec la dose unique de début ; dans le cas de fractionnements effectués à de plus grands intervalles de temps, les calculs de protection ont été faits sur la moyenne de croissance des lentilles irradiées avec la dose massive au début et à la fin de l'expérience.

#### β) *Résultats.*

Les résultats des essais, entrepris à ce sujet, sont consignés dans le Tableau XXXII. J'y ai mentionné le nombre d'objets que renfermait l'expérience décrite, la longueur des germes au moment des irradia-

tions, la dose de rayons appliquée, le jour de la mesure, la moyenne de croissance des témoins. En ce qui concerne les doses fractionnées, j'ai noté l'intervalle de temps séparant les deux fractionnements et la moyenne de croissance des lots ainsi irradiés ; pour la dose unique, j'ai indiqué la moyenne de croissance des doses de début, de fin et la moyenne de ces deux lots dans les cas où j'ai eu à m'en servir. La dernière colonne établit, enfin, la différence d'accroissement existant entre les lots irradiés avec les doses uniques et fractionnées pour les divers intervalles de temps écoulés entre les deux fractionnements. Je ferai remarquer, en outre, qu'ici, comme dans toutes les expériences que j'ai décrites, il n'est justifié d'établir des comparaisons qu'à l'intérieur d'une même expérience, les conditions de culture ne pouvant être strictement égales que pour les plantes d'une même expérience.

Les expériences que renferment ce Tableau montrent que le degré de protection n'est pas maximum pour des fractionnements faits à des intervalles assez rapprochés. Il augmente, au contraire, sensiblement avec le temps qui s'écoule entre deux irradiations. Dans les conditions de mes essais, l'action intermittente des rayons s'est montrée très favorable pour des fractionnements réalisés à 3 heures d'intervalle. Il est possible que d'autres conditions de température entre les irradiations donnent des résultats quelque peu différents. Ce que je tiens à mettre ici en évidence c'est non pas la valeur du temps optimum écoulé entre les deux fractionnements mais bien le fait que la *réaction radiophylactique manifestée par les cellules ne se produit, dans toute son ampleur, qu'un certain temps après l'irradiation.*

*b*) Action de la température dans l'intervalle de temps séparant les fractionnements.

Jungling (102) a montré que des germes mis en vie latente cumulent complètement les doses. Les plantes en croissance ne les cumulant pas, il s'ensuit que le facteur de protection réside dans l'importance de l'activité cellulaire. Les expériences précédentes sur l'effet du temps écoulé entre les deux fractionnements de la dose ayant montré que la réaction radiophylactique semblait accomplie trois heures après la première irradiation pour une température voisine de 20°, il est logique de penser que, pour des températures plus basses, l'activité cellulaire étant moindre, l'effet radiophylactique obtenu sera nettement plus faible. C'est ainsi que des germes, préalablement irradiés avec une première fraction de la dose, puis mis, pendant 3 heures, à des températures différentes, devront manifester

*

# TABLEAU XXXII

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Doses (en R) | Jour de mesure | Témoins : moyenne de croissance (en mm.) | Dose fractionnée en 2 doses égales | | Dose unique | | | Différence de croissance entre la dose fractionnée et la dose unique (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Temps séparant les deux fractionnements (en heures) | Moyenne de croissance (en mm.) | Dose de début : moyenne de croissance (en mm.) | Dose de fin : moyenne de croissance (en mm.) | Moyenne de croissance des 2 doses uniques (en mm.) | |
| 260 | 270 | 8 | 450 | 12 | 150.5 | 0-15 | 44.6 | 25.6 | — | — | +18.9 |
| | | | | | | 0-30 | 50.2 | 25.6 | — | — | +24.5 |
| | | | | | | 1 | 56.8 | 25.6 | — | — | +31.1 |
| | | | | | | 3 | 71.9 | 25.6 | — | — | +46.2 |
| | | | | | | 5 | 60.2 | 25.6 | — | — | +34.6 |
| | | 8-19 | | | | 7 | 62.7 | 25.6 | 40.2 | 32.0 | +29.8 |
| | | 8-12 | | | | 9 | 68.2 | 25.6 | 40.2 | 32.9 | +35.3 |
| 261 | 300 | 10 | 450 | 16 | 181.6 | 0-30 | 72.7 | 66.7 | — | — | + 5.9 |
| | | | | | | 1 | 95.5 | 66.7 | — | — | +28.8 |
| | | | | | | 2 | 90.6 | 66.7 | — | — | +23.9 |
| | | | | | | 3 | 100.7 | 66.7 | — | — | +34.0 |
| | | | | | | 4 | 96.6 | 66.7 | — | — | +29.9 |
| | | 10-15 | | | | 18 | 103.8 | 66.7 | 91.0 | 78.8 | +25.0 |
| 262 | 300 | 10-15 | 450 | 12 | 143.5 | 0-30 | 42.0 | 27.7 | — | — | +14.3 |
| | | | | | | 1 | 34.8 | 27.7 | — | — | + 7.1 |
| | | | | | | 3 | 47.7 | 27.7 | — | — | +20.0 |
| | | | | | | 5 | 43.3 | 27.7 | — | — | +15.6 |
| 263 | 160 | 3 | 450 | 14 | 151.8 | 0-10 | 92.3 | 96.3 | — | — | — 4.0 |
| | | | | | | 1 | 106.0 | 96.3 | — | — | + 9.7 |

après l'application de la dose restante, des degrés de protection nettement dissemblables.

α) *Technique.*

Les expériences que j'ai réalisées ont été conduites de la manière suivante : Des lentilles de longueur de racine strictement égales sont réparties en 4 lots de 30 à 40 plantes chacun. L'un sert de témoin ; un autre est irradié par la dose massive ; les deux autres reçoivent la dose fractionnée en deux fois à 3 heures d'intervalle. Ces derniers ont été placés à des températures différentes et exactement notées pendant les trois heures séparant les deux fractionnements. Après l'action des rayons, les plantes ont été cultivées ensemble à la même température.

β) *Résultats.*

Les résultats que j'ai obtenus figurent dans le Tableau XXXIII. J'y ai mentionné le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes au moment de l'irradiation, la dose de rayons appliquée, le jour de la mesure, la croissance des témoins. En ce qui concerne la dose fractionnée, j'ai noté l'intervalle de temps séparant les fractionnements (3 heures dans tous les essais), puis, ce qui ici est de toute importance, *la température, à laquelle les lots irradiés ont été placés, pendant les 3 heures, séparant les fractionnements*, et la moyenne de croissance des racines. Pour la dose unique, j'ai mentionné la température à laquelle les plantes ont été mises avant l'irradiation, la durée de leur séjour dans cette température et la moyenne de croissance des racines. J'ai calculé ensuite la différence d'accroissement existant entre les lentilles soumises à l'action de la dose unique et de la dose fractionnée ; j'ai fait précéder cette différence du signe « + », lorsqu'elle était en faveur de la dose fractionnée. En dernier lieu, j'ai établi, dans chaque expérience, la différence de protection, c'est-à-dire la différence de croissance manifestée par les lots maintenus à des températures différentes entre les deux irradiations. Je l'ai dénommée différence de protection due à l'activité métabolique.

Je détaillerai, pour expliquer ce Tableau, **l'expérience 265.** — 200 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en cinq lots. Le lot 1 sert de témoin ; le lot 2 reçoit une dose massive de 450 R et est ensuite placé, pendant 3 heures, à 27°. Le lot 3 reçoit une dose massive de 450 R ; il est ensuite placé, à la glacière, à une température de 6°. Le lot 4 est irradié avec une dose de 225 R et mis ensuite à 27°, pendant 3 heures, après quoi il reçoit, à nouveau, 225 R. Le

# TABLEAU XXXIII

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Témoins : moyenne de croissance (en mm.) | Doses (en R) | Dose fractionnée en deux doses égales | | | Dose unique | | | Différence de croissance entre la dose unique et la dose fractionnée (en mm.) | Différence de protection due à l'activité métabolique |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Temps séparant les fractionnements (en heures) | Température des lots pendant le temps séparant les fractionnements | Moyenne de croissance (en mm.) | Température précédant l'irradiation | Séjour dans la température précédant l'irradiation (en heures) | Moyenne de croissance (en mm.) | | |
| 264 | 150 | 5 | 14 | 99.0 | 450 | 3 | 26° | 35.0 | 26° | 3 | 28.0 | + 7.0 | + 8.0 |
| | | | | | 450 | 3 | 3° | 33.4 | 3° | 3 | 34.4 | — 1.0 | — |
| 265 | 200 | 6 | 15 | 150.1 | 450 | 3 | 27° | 81.6 | 27° | 3 | 47.5 | +34.1 | +29.4 |
| | | | | | 450 | 3 | 6° | 61.6 | 6° | 3 | 56.9 | + 4.7 | — |
| 266 | 120 | 10 | 15 | 188.3 | 450 | 3 | 20° | 108.3 | 20° | 3 | 79.7 | +28.6 | +26.2 |
| | | | | | 450 | 3 | 2° | 82.1 | 22° | 3 | 79.7 | + 2.4 | — |
| 267 | 320 | 8 | 15 | — | 450 | 3 | 24° | 105.4 | 24° | 3 | 63.9 | +41.5 | +28.3 |
| | | | | | 450 | 3 | 24° | 99.1 | 24° | 3 | 63.9 | +35.2 | — |
| | | | | | 450 | 3 | 14° | 92.5 | — | 3 | 67.0 | +25.5 | +17.4 |
| | | | | | 450 | 3 | 14° | 96.3 | — | 3 | 67.0 | +29.3 | — |
| | | | | | 450 | 3 | 4° | 84.7 | 4° | 3 | 70.2 | +14.5 | — |
| | | | | | 450 | 3 | 4° | 75.7 | 4° | 3 | 70.2 | + 5.5 | — |
| 268 | 120 | 6 | 15 | — | 450 | 3 | 31° | 46.7 | 31° | 3 | 22.2 | +24.5 | + 8.4 |
| | | | | | 450 | 3 | 17° | 38.3 | 17° | 3 | 22.2 | +16.1 | — |
| 269 | 120 | 6 | 15 | — | 450 | 3 | 31° | 64.6 | 31° | 3 | 22.2 | +42.4 | +27.1 |
| | | | | | 450 | 3 | 17° | 37.5 | 17° | 3 | 22.2 | +15.3 | — |

lot 5 est irradié avec une dose de 225 R ; il est ensuite mis, à la glacière, à la température de 6° pendant 3 heures ; ce temps écoulé, il reçoit, à nouveau, 225 R. Les plantes sont ensuite cultivées toutes ensemble. Quinze jours après l'irradiation, on mesure la longueur des racines et établit la moyenne de croissance de chaque lot. Cette dernière a été de 81,6 mm. pour les lentilles ayant reçu la dose fractionnée et ayant séjourné entre les deux irradiations à une température de 27° (lot 4), alors que pour la dose unique correspondante (lot 2), la croissance était seulement de 47,5 mm., soit une différence de 34,1 mm. en faveur des plantes irradiées avec la dose fractionnée. Pour les germes irradiés avec cette même dose fractionnée, la température de l'intervalle de temps séparant les fractionnements étant de 6° (lot 5), les racines mesuraient 61,6 mm., alors que celles des plantes, ayant reçu la dose unique correspondante (lot 3), atteignaient une longueur de 56,9 mm., soit une différence de 4,7 mm. en faveur des lentilles soumises à l'irradiation fractionnée. Les plantes qui, après avoir reçu la première fraction de la dose, ont séjourné trois heures, à 27°, puis ont été à nouveau irradiées, se montrent nettement plus protégées que les germes placés à 6° dans l'intervalle de temps séparant les deux fractionnements. La différence est, en effet, de 29,4 mm. On voit donc qu'en l'espace de trois heures, la réaction biologique est plus grande à 27° qu'à 6°, parallèlement à l'intensité des échanges, qui augmente, comme on le sait, avec l'élévation de la température dans les conditions expérimentales où je me suis placée.

Les diverses expériences renfermées dans le Tableau XXXIII mettent en évidence, comme celles des Tableaux XXXI et XXXII, que les plantes soumises à l'action des doses fractionnées sont moins lésées que les germes irradiés en une seule fois avec la même quantité de rayons.

Mais elles font apparaître surtout, fait de toute importance pour la théorie de la radiophylaxie, que *la température dans laquelle les plantes séjournent entre les deux fractionnements joue un rôle capital sur l'intensité de l'effet protecteur*. Pour des températures de 24° à 31°, la différence de croissance manifestée entre les plantes soumises à l'action des doses uniques et fractionnées est très élevée, alors qu'elle se montre très faible pour un séjour dans de basses températures ; elle est même nulle dans certains cas (expérience 264); il y a alors cumulation complète des doses ainsi que J u n g l i n g l'a observé pour des fèves mises au repos cellulaire sur de la glace.

L'expérience 267, faite sur neuf lots de graines irradiées à trois

températures différentes : 4°, 14°, 24°, montre, au surplus, que, plus la température est élevée pendant les trois heures séparant les fractionnements, plus les germes soumis à l'action de la dose intermittente accusent un meilleur accroissement.

Ces expériences prouvent donc que, pour des fractionnements effectués à trois heures d'intervalle, le phénomène de protection se manifeste d'autant plus nettement que les plantes ont pu réagir plus intensément, ce qui est en accord avec l'idée de radiophylaxie. S'il faut, en effet, à la réaction biologique désensibilisante un certain temps pour se réaliser complètement dans des conditions optima d'activité cellulaire, il est vraisemblable que les lentilles étant placées dans des conditions de vie moins active, la réaction sera moins avancée après ce même temps. Si, par exemple, elle est complète en trois heures à 30°, elle n'aura pas, dans cet espace de temps, atteint son maximum à 17° et l'effet radiophylactique sera moins intense à 17° qu'à 30°. C'est ce que démontrent mes expériences.

### *c*) Action du mode de fractionnement de la dose.

#### α) *Fractionnements en doses multiples et égales.*

J'ai tout d'abord fractionné la dose de rayons à appliquer en plusieurs parties égales, trois, quatre ou sept, suivant les essais. Dans ce but, des lentilles de même longueur de racine sont divisées en un certain nombre de lots ; l'un d'eux reçoit la dose massive, les autres la dose fractionnée en trois, quatre ou sept parties égales à des intervalles de temps égaux. Cultivées ensemble après l'irradiation, les plantes sont mesurées après une quinzaine de jours. J'ai ainsi fait deux expériences qui sont relatées dans le Tableau XXXIV (expériences 270 et 271). On voit que la multiplication des fractionnements n'augmente pas le degré de l'effet protecteur. Ce résultat trouve son explication dans la connaissance des faits qui sont relatés ci-dessous.

#### β) *Fractionnements en deux doses inégales.*

J'ai, dans cette série d'expériences, recherché quelle serait l'action sur l'intensité de la radiophylaxie du fractionnement de la dose en deux parties inégales. J'ai, en outre, essayé de déterminer quelle était l'influence respective des doses premières et secondes sur le degré de ce phénomène.

Mes essais ont été pratiqués de la manière suivante : Des lentilles germées de même longueur de racine sont divisées en moyenne en

dix lots de trente à quarante graines chacun. L'un sert de témoin. Un autre reçoit la dose massive (de 450 R le plus souvent). Les lots restants sont irradiés, en deux fois, à trois ou quatre heures d'intervalle ; la dose a été fractionnée différemment pour chacun d'eux, ainsi qu'on peut le voir dans le Tableau XXXIV. Les plantes sont ensuite cultivées toutes ensemble, et les racines sont mesurées une quinzaine de jours plus tard. J'ai ainsi réalisé un certain nombre d'expériences dont j'ai indiqué les données essentielles dans le Tableau ci-dessous.

J'y ai mentionné, en effet, le nombre d'objets, sur lesquels j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, le jour de la mesure, la croissance moyenne des racines des plantes témoins, la dose de rayons appliquée. En ce qui concerne la dose fractionnée, j'ai noté le mode de fractionnement de la dose, le premier nombre indiquant la quantité de rayons donnée la première fois, et le second nombre la quantité de rayons appliquée la seconde fois ; j'ai ensuite mentionné l'intervalle de temps séparant les deux fractionnements, la moyenne de croissance des racines. Les deux dernières colonnes du Tableau renferment, l'une la moyenne de croissance des racines des plantes irradiées avec la dose massive, l'autre, la différence de croissance manifestée entre les lentilles soumises à l'action de la dose unique et des doses fractionnées.

Les expériences relatées dans ce Tableau mettent en évidence un certain nombre de faits.

1° On remarque, tout d'abord, que ces nouvelles expériences apportent à nouveau 57 résultats prouvant nettement l'effet moins lésant des doses fractionnées.

2° On voit, en second lieu, *que la protection se produit même après l'application d'une première dose de rayons très faible,* 10 *ou* 20 *R.*

3° D'autre part, les expériences qui ont été réalisées en fractionnant la dose de nombreuses manières (essais 275, 276, 277, 278, 279) montrent que le *degré de protection varie avec le mode de fractionnement.* Le premier fait, qui ressort nettement, est que la protection décroît lorsque la dose seconde est inférieure à la dose première ; elle diminue d'autant plus que la dose seconde est plus faible. Cette constatation est en parfait accord avec l'hypothèse de radiophylaxie. Il est, en effet, logique que, lorsque l'application de la dose première réalise complètement la réaction désensibilisante, la protection se marque d'autant moins que la dose seconde est plus faible.

Lorsque la dose première est plus petite que la dose seconde, les résultats sont moins nets. Il est certain que si une dose quelconque

## TABLEAU

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Témoins : moyenne de croissance (en mm.) | Doses (en R) | Dose fractionnée — Mode de fractionnement de la dose (en R) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 270 | 70 | 2 | 16 | — | 490 | 7 fois 70 |
| 271 | 200 | 4 | 14 | — | 450 | 225 + 225<br>3 fois 150<br>4 fois 122.5 |
| 272 | 210 | 6 | 13 | 136.3 | 450 | 20 + 430<br>20 + 430<br>10 + 440<br>10 + 440 |
| 273 | 160 | 6 | 14 | 151.8 | 450 | 150 + 300<br>150 + 300 |
| 274 | 160 | 14 | 14 | 138.7 | 450 | 150 + 300<br>300 + 150 |
| 275 | 270 | 10 | 14 | 136.8 | 450 | 50 + 400<br>100 + 350<br>150 + 300<br>225 + 225<br>300 + 150<br>350 + 100<br>400 + 50 |
| 276 | 270 | 6 | 14 | 122.9 | 450 | 50 + 400<br>100 + 350<br>150 + 300<br>225 + 225<br>300 + 150<br>350 + 100<br>400 + 50 |
| 277 | 330 | 6 | 14 | 125.1 | 450 | 10 + 440<br>25 + 425<br>50 + 400<br>100 + 350<br>150 + 300<br>225 + 225<br>300 + 150<br>350 + 100<br>400 + 50 |

## XXXIV

| en doses inégales | | Dose unique : moyenne de croissance (en mm.) | Différence de croissance entre la dose unique et la dose fractionnée (en mm.) |
|---|---|---|---|
| Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyenne de croissance (en mm.) | | |
| 0-12 | 97 | 91.0 | + 6.0 |
| 12 | 87.3 | 69.0 | + 18.3 |
| 6 | 86.5 | 69.0 | + 17.5 |
| 4 | 84.4 | 69.0 | + 15.4 |
| 3-50 | 48.3 | 41.0 | + 7.3 |
| — | 54.5 | — | + 13.5 |
| — | 50.2 | — | + 9.2 |
| — | 51.2 | — | + 10.2 |
| 1-30 | 63.4 | 36.4 | + 27.0 |
| — | 51.9 | — | + 15.5 |
| 2 | 83.4 | 61.7 | + 21.7 |
| — | 75.4 | — | + 13.7 |
| 3-30 | 42.4 | 19.7 | + 22.7 |
| — | 42.5 | — | + 22.8 |
| — | 37.2 | — | + 17.5 |
| — | 40.0 | — | + 20.3 |
| — | 32.5 | — | + 12.8 |
| — | 26.8 | — | + 7.1 |
| — | 23.0 | — | + 3.3 |
| 3-30 | 51.3 | 29.0 | + 22.3 |
| — | 48.2 | — | + 19.2 |
| — | 48.4 | — | + 19.4 |
| — | 46.9 | — | + 17.9 |
| — | 42.3 | — | + 13.2 |
| — | 32.3 | — | + 3.3 |
| — | 32.8 | — | + 3.8 |
| 3 | 40.2 | 23.7 | + 16.5 |
| — | 35.6 | — | + 11.9 |
| — | 38.5 | — | + 14.8 |
| — | 48.4 | — | + 24.7 |
| — | 43.4 | — | + 19.7 |
| — | 45.4 | — | + 21.7 |
| — | 42.1 | — | + 18.4 |
| — | 33.8 | — | + 10.1 |
| — | 37.3 | — | + 13.6 |

**Tableau XXXIV**

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Témoins : moyenne de croissance (en mm.) | Doses (en R) | Dose fractionnée — Mode de fractionnement de la dose (en R) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 278 | 240 | 10 | 14 | 127.8 | 450 | 5 + 445<br>25 + 425<br>50 + 400<br>100 + 350<br>150 + 300<br>225 + 225 |
| 279 | 240 | 6 | 14 | 110.0 | 450 | 50 + 400<br>100 + 350<br>150 + 300<br>225 + 225<br>300 + 150<br>450 + 50 |
| 280 | 180 | 10 | 15 | 110.6 | 400 | 200 + 200<br>200 + 200<br>100 + 300<br>100 + 300 |
| 281 | 120 | 13 | 14 | | 300<br>450 | 200 + 100<br>200 + 250 |
| 282 | 150 | 7 | 14 | | 300<br>450 | 200 + 100<br>200 + 250 |
| 283 | 120 | 13 | 14 | | 300<br>450 | 200 + 100<br>200 + 250 |

réalisait totalement la réaction radiophylactique, la protection devrait être d'autant plus marquée que la dose seconde serait plus grande, et que par conséquent la dose première serait plus faible. Pour chercher à voir le sens de ce phénomène, j'ai mis en courbe les résultats des expériences *275*, *276* et *277*, faites sensiblement dans les mêmes conditions ainsi que l'indiquent le développement des témoins, celui des plantes ayant reçu la dose unique et le degré moyen de la protection. J'ai, dans ce but, porté dans la figure IV, en abscisses les valeurs de la dose première et en ordonnées celles de la protection en fonction de ces doses ; les quantités de rayons sont évaluées en R, les protections en millimètres. Les points représentent les chiffres obtenus dans ces trois expériences. J'ai indiqué

(suite)

| n doses inégales | | Dose unique : moyenne de croissance (en mm.) | Différence de croissance entre la dose unique et la dose fractionnée (en mm.) |
|---|---|---|---|
| Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyenne de croissance (en mm.) | | |
| 3-30 | 22.1 | 20.6 | + 1.5 |
| — | 26.0 | — | + 5.4 |
| — | 27.6 | — | + 7.0 |
| — | 29.0 | — | + 8.4 |
| — | 27.8 | — | + 7.2 |
| — | 36.0 | — | + 15.4 |
| 4 | 38.3 | 27.0 | + 11.3 |
| — | 33.3 | — | + 6.3 |
| — | 39.8 | — | + 12.8 |
| — | 39.4 | — | + 12.4 |
| — | 33.1 | — | + 6.1 |
| — | 25.1 | — | — 1.9 |
| 3-15 | 57.9 | 50.0 | + 7.9 |
| — | 57.8 | — | + 7.8 |
| — | 68.2 | — | + 18.2 |
| — | 74.9 | — | + 24.9 |
| 3-30 | 94.3 | 85.3 | + 9.0 |
| — | 72.4 | 53.4 | + 19.0 |
| 4 | 79.0 | 73.4 | + 5.6 |
| — | 57.1 | 43.0 | + 14.1 |
| 4-30 | 94.6 | 85.6 | + 9.0 |
| — | 69.3 | 55.2 | + 14.1 |

par le tracé de la courbe le sens général du phénomène dans ces trois essais.

Cette figure met tout d'abord en évidence, d'une manière très nette, l'effet protecteur consécutif à l'application des doses fractionnées ; les valeurs de la dose unique trouveraient, en effet, leur place avec zéro de protection sur la ligne des abscisses. On voit que, pour les doses fractionnées, toutes les valeurs sont situées plus haut. On remarque, d'autre part, que l'effet protecteur s'élève avec l'augmentation de la dose première de 10 à 100 R. Il n'apparaît donc pas qu'une dose première quelconque réalise totalement la réaction radiophylactique, tout au moins, dans les conditions expérimentales des trois essais, représentés dans cette Figure. Mais, ce qui apparaît

très nettement (fait que l'on retrouve également dans toutes les expériences), c'est la *diminution très nette et de plus en plus grande de l'effet protecteur au fur et à mesure que la dose seconde est de plus*

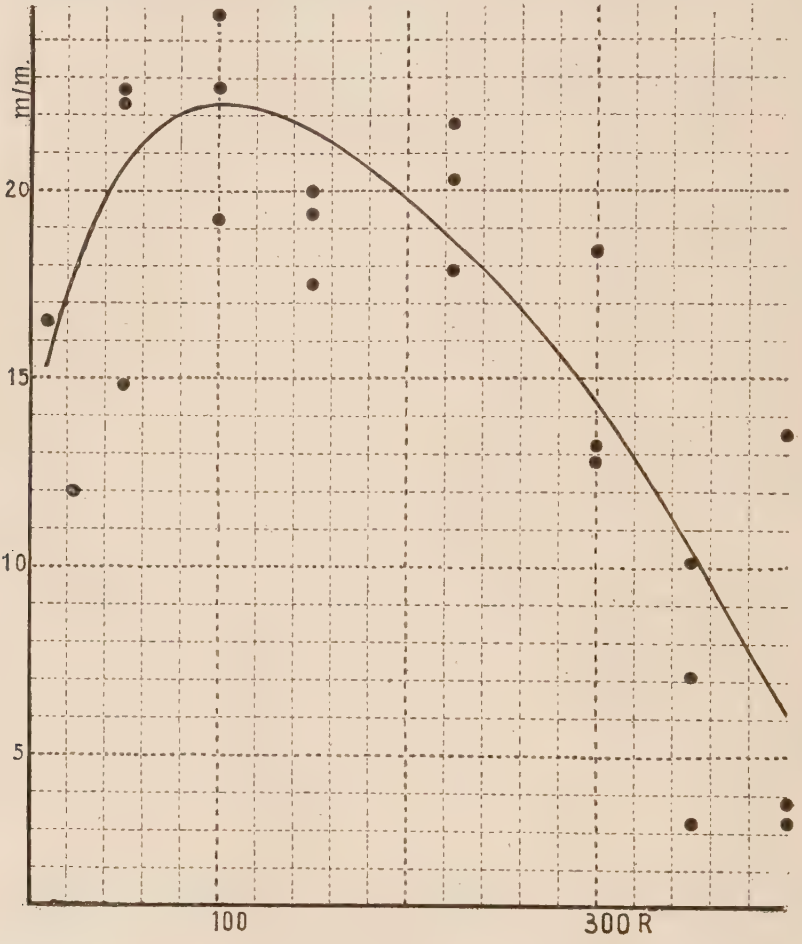



**Fig. IV.** — *Variations de l'effet protecteur d'une dose de 450 R en fonction du mode de fractionnement de cette dose en deux parties inégales.*
En ordonnées : Effet protecteur (en mm.).
En abscisses : Doses premières (en R).

*en plus inférieure à la dose première.* La réaction radiophylactique semble terminée, en effet, après 3 à 4 heures pour une dose voisine de 200 R, dans les conditions expérimentales où je me suis placée. *Il s'ensuit que, au-dessus de 200 R, l'augmentation de la dose première, n'influant plus sur le degré de la protection, l'effet protecteur est d'autan*

*moins apparent que la dose seconde est plus faible.* Il apparaît donc qu'irradiant divers lots de lentilles avec la même dose première de 200 R, puis leur appliquant 3 à 4 heures plus tard une dose seconde variable, les plantes ayant reçu la plus forte dose seconde devront manifester le plus intensément l'effet protecteur, et cela comparativement aux germes irradiés avec la dose massive. J'ai vérifié le fait dans les trois dernières expériences renfermées dans le Tableau XXXIV. Elles ont été effectuées de la façon suivante : Des lentilles de même longueur de racine sont divisées en 4 lots. L'un est soumis à l'action d'une dose unique de 300 R ; un second reçoit, tout d'abord, 200 R, puis, trois ou quatre heures plus tard, 100 R. Un troisième lot est soumis à l'action d'une dose unique de 450 R ; un dernier lot (lot 4) reçoit, tout d'abord, 200 R, puis, 3 ou 4 heures plus tard, 250 R. Mis en culture tous ensemble et mesurés quatorze jours plus tard, il est apparu très nettement que pour une dose première de 200 R l'élévation de la dose seconde augmente l'effet protecteur. Ainsi, dans l'expérience 281, la différence entre la croissance des lentilles soumises à l'action des doses unique et fractionnée pour 300 R de dose totale a été de 9, alors qu'elle atteint 19 pour une dose totale de 450 R.

La connaissance de ces derniers faits apporte une nouvelle preuve de l'existence d'un phénomène de radiophylaxie.

* * *

L'exposé de ces résultats me permet de discuter les conclusions d'Holthusen (89). Nous avons vu que cet auteur explique de préférence la non-cumulation des doses fractionnées par une guérison de la lésion. Les faits, sur lesquels il s'appuie pour soutenir cette opinion sont les suivants : Il dit, en effet : « Parlent pour une guérison « de lésion dans le cas d'application des doses fractionnées sur les « tissus en vie active :

« 1° La cumulation complète des doses fractionnées données à « des cellules en vie latente ;

« 2° La lésion moins grande des cellules en multiplication rapide « (expérience d'Holthusen précédemment citée sur des jeunes « et vieilles cultures de colibacille) ;

« 3° La minime déviation de la loi de Bunsen pour des temps « d'irradiation brefs ».

Ces faits ne prouvent pas qu'il se produit une réparation de la lésion. Ils peuvent aussi bien être interprétés et même plus justement,

me semble-t-il, dans le sens d'une diminution de sensibilité consécutive à une première irradiation.

Ayant montré précédemment que cette réaction radiophylactique nécessitait un certain temps pour se produire, et qu'elle était d'autant plus grande que l'activité métabolique était plus élevée pendant ce temps, les faits cités par Holthusen à l'appui de sa théorie s'expliquent, à mon avis, de la façon suivante :

1° La cumulation des doses fractionnées appliquées à des cellules en vie latente apparaît complète, car, l'intensité des échanges étant sensiblement nulle, la réaction désensibilisante, fonction de l'activité cellulaire ne peut avoir lieu.

2° Les cellules en multiplication rapide sont moins lésées que les autres par l'application de doses fractionnées (expérience réalisée sur des jeunes et vieilles cultures de colibacille), car ici encore, l'activité physiologique étant très différente, la réaction radiophylactique se manifeste d'autant plus intensément qu'est plus grande l'activité cellulaire.

Quant au troisième fait signalé par Holthusen, il ne se rapporte pas au fractionnement de la dose mais à l'étalement de la dose dans le temps, phénomène différent, qui n'est pas obligatoirement produit par le même mécanisme.

On voit donc que les faits invoqués par Holthusen pour soutenir son opinion ne sont nullement en opposition avec l'existence d'un phénomène radiophylactique. Les résultats expérimentaux consignés dans le chapitre suivant le mettront plus nettement encore en évidence.

---

Chapitre V

# ÉTUDE DE LA RADIOPHYLAXIE

---

## I. — DÉMONSTRATION EXPÉRIMENTALE DE LA RADIOPHYLAXIE.

Les études que j'ai faites sur l'effet lésant des doses fractionnées comparativement à celui des doses massives m'ont conduite à admettre que la non-cumulation des doses fractionnées, appliquées à des

cellules, s'expliquait par un phénomène de radiophylaxie. Après une première irradiation, les cellules réagiraient de telle sorte qu'elles deviendraient moins sensibles à l'action d'une nouvelle irradiation ; elles seraient protégées, en partie contre l'effet des rayons. Les expériences que j'ai réalisées, dans l'étude du fractionnement des doses, ont donné des résultats qui sont en accord complet avec cette manière de voir. Toutefois, j'ai voulu mettre ce phénomène en évidence d'une façon plus nette encore. Ayant remarqué que, dans l'étude du mode de fractionnement des doses (chapitre IV, page 182), l'effet protecteur se manifestait même après l'application d'une première quantité de rayons très faible, j'ai réalisé de nouvelles expériences du type suivant. J'ai appliqué à des lentilles une première dose de 10, 20 ou 30 R, puis, 3 heures plus tard, je leur ai donné 450 R ; elles ont donc reçu au total 460, 470 ou 480 R. D'autres lentilles de même longueur de germe ont été irradiées avec une dose unique de 450 R seulement. Il est clair que, s'il n'existe pas d'effet radiophylactique, les plantes ayant reçu seulement 450 R devront être moins touchées ou que, tout au moins, les moyennes de croissance des divers lots devront être extrêmement voisines, les différences de doses n'étant pas très grandes. Si, au contraire, la petite irradiation de 10, 20 ou 30 R a protégé la plante contre les rayons, les germes irradiés par les doses de 460, 470 ou 480 R seront moins lésés que les plantules soumises à l'action de 450 R. J'ai entrepris sur des lentilles et des racines d'oignons un grand nombre d'expériences, afin de voir ce qu'il en était.

## A. — Étude de la radiophylaxie faite sur Lens Esculata.

### 1. — Technique.

Mes essais ont été conduits de deux manières légèrement différentes.

1° J'ai, tout d'abord, expérimenté de la façon suivante :

Des lentilles germées, de même longueur de racine, ont été divisées en trois lots de 30 à 40 graines chacun. Le lot 1 reçoit une première dose, variable suivant les expériences, de 5 à 100 R. Trois à quatre heures plus tard, on lui applique, à nouveau, une dose de 450 R. Le lot 2 est ensuite irradié avec une dose de 450 R. Le lot 3 sert de témoin. Les doses ont été mesurées à l'aide de l'ionomètre de Solomon, pendant l'irradiation. Les plantes sont ensuite cultivées toutes ensemble ; 15 jours plus tard, on détermine la moyenne de croissance des racines.

2° J'ai employé, dans la suite, une technique préférable en ce qui concerne le dosage des rayons. J'ai voulu me placer à l'abri de toute erreur pouvant être introduite par un appareil de mesure quelconque. Dans ce but, des lentilles germées de même longueur de racine sont divisées en trois lots renfermant 30 à 40 graines chacun. Le lot 1 reçoit une première dose, variable suivant les expériences, de 5 à 40 R. Trois à cinq heures plus tard, on applique *en même temps* [1]) 450 R au lot 1 et au lot 2 ; ces deux lots irradiés *ensemble* ont donc reçu exactement la même quantité de rayons. Dans ces conditions, il est indéniable que le lot 1 a reçu, au total une plus grande quantité de rayons que le lot 2, puisqu'il a subi l'action de deux irradiations, tandis que le lot 2, n'a été irradié qu'une seule fois. Le lot 3 sert de témoin. Les plantes sont ensuite cultivées ensemble sur eau dans les mêmes conditions ; 15 jours plus tard, j'ai déterminé les moyennes de croissance des racines des divers lots.

### 2. — Résultats.

Les résultats obtenus sont relatés dans le Tableau XXXV. J'ai indiqué, par un astérisque, les expériences effectuées selon la deuxième technique, c'est-à-dire celles où les lots 1 et 2 ont été soumis *ensemble* à l'action des rayons. Cet astérisque suit, dans la première colonne du Tableau, le numéro de l'essai. J'ai mentionné, dans ce Tableau, le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, le jour de la mesure, la valeur de la première dose (dose protectrice), celle de la seconde, la dose totale reçue par les divers lots, l'intervalle de temps séparant l'irradiation protectrice de la seconde irradiation, la moyenne de croissance des racines de chaque lot. La dernière colonne exprime la valeur de la protection, c'est-à-dire la différence de croissance manifestée entre les lots 1 et 2. Le signe « + » indique qu'elle est en faveur du lot 1, c'est-à-dire du lot irradié le plus fortement et soumis à l'effet d'une irradiation protectrice. Je tiens, en outre, à noter ici que, pour me permettre une description plus simple des expériences, j'ai signalé que la dose appliquée en même temps aux lots 1 et 2 était de 450 R ; elle a cependant été plus faible, dans certains essais, ainsi qu'on peut le voir dans le Tableau XXXV. D'autre part, les lots irradiés ont été, dans bien des expériences, supérieurs à deux. Lorsqu'un tel essai renferme

[1]) A cet effet, on dispose dans un cristallisoir la moitié des deux lots que l'on sépare l'un de l'autre par une bandelette de coton, puis on les soumet ensemble à l'action de la même quantité de rayons. On recommence ensuite la même opération avec les moitiés restantes des deux lots.

plusieurs lots du type lot 2, j'ai effectué la moyenne de la somme des croissances de ces divers lots, et c'est sur cette moyenne qu'est calculée la valeur de la protection. Lorsqu'au contraire, l'expérience renferme plusieurs lots du type lot 1, j'ai calculé, pour chaque lot, la valeur de la protection, comme on peut s'en rendre compte par l'examen du Tableau XXXV. Je tiens à faire remarquer, au surplus, que la valeur de la protection diffère souvent notablement d'une expérience à l'autre ou même parfois à l'intérieur d'un même essai. Ceci tient, dans certains cas, à la variation des conditions d'expérience. Ainsi, dans l'expérience 312, l'irradiation première de 40 R a été donnée à travers des filtres de cuivre (3 mm.) et d'aluminium (1 mm.) aux lots qui accusent une protection de 4,6 et 4,9 mm., alors que les lots irradiés sans filtre montrent un effet protecteur de 13,7 et 18,5 mm. ; la même remarque s'adresse à l'expérience 313. De même, dans l'essai 318, la distance objet-anticathode a varié suivant les lots. Enfin, les différences observées dans la valeur de la protection sont dues, dans d'autres cas, à des causes dont l'explication sera fournie plus loin.

Pour expliciter le Tableau XXXV, je décrirai les expériences 295 et 307.

**Expérience 295.** (Technique 1). — 160 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en 4 lots. Le lot 1 reçoit 30 R, puis, 3 heures 45 plus tard, on lui applique, à nouveau, 450 R ; il a donc reçu au total 480 R. Le lot 2 reçoit également 30 R, puis, 4 heures plus tard, 450 R, soit au total 480 R. Le lot 3 reçoit 450 R. Le lot 4 reçoit également 450 R. Après 15 jours de culture, les moyennes de croissance ont été de 36,9 mm. pour le lot 1 ; 37,0 mm. pour le lot 2 ; 30,7 mm. pour le lot 3 et 31,3 mm. pour le lot 4. Les lots 3 et 4, soumis à l'action de 450 R seulement, présentent une moyenne de croissance égale à $\frac{30,7 + 31,3}{2}$ soit 31,0 mm. La différence de croissance manifestée entre le lot 1, d'une part, et les lots 3 et 4, d'autre part, est donc de 5,9 mm. De même, la différence de croissance manifestée entre le lot 2, d'une part, et les lots 3 et 4, d'autre part, se trouve être de 6,0 mm. Les plantes soumises à l'action préalable d'une irradiation de 30 R ont été protégées vis-à-vis d'une nouvelle action des rayons ; 5,9 et 6,0 expriment la valeur de cette protection.

**Expérience 307** (Technique 2). — 120 lentilles de 7 mm. de longueur de racine sont divisées en trois lots. Le lot 1 reçoit 40 R, puis, 3 heures 30 plus tard, on lui applique, en même temps qu'au

# TABLEAU XXXV

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyennes de croissance (en mm.) | Valeur de la protection (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 284 | 150 | 8 | 14 | 5 | 450 | 455 | 2-45 | 47.2 | + 13.1 |
| | | | | 5 | 450 | 455 | 2-45 | 40.5 | + 6.4 |
| | | | | — | — | 450 | — | 29.6 = 34.1 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 38.6 | |
| | | | | — | — | témoins | — | 88.6 | — |
| 285 | 80 | 5 | 14 | 5 | 450 | 455 | 2-45 | 34.7 | + 2.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 27.6 = 32.0 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 36.4 | |
| 286 | 200 | 7 | 14 | 5 | 450 | 455 | 3-30 | 56.2 | — 1.9 |
| | | | | 10 | 450 | 460 | 3-30 | 69.5 | + 11.4 |
| | | | | — | — | 450 | — | 57.8 = 58.1 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 58.5 | |
| | | | | — | — | témoins | — | 152.7 | — |
| 287* | 80 | 7 | 14 | 5 | 400 | 405 | 3-45 | 39.7 | + 5.7 |
| | | | | — | — | 400 | — | 43.0 | — |
| 288* | 175 | 14 | 14 | 5 | 450 | 455 | 4-15 | 50.9 | + 5.0 |
| | | | | — | — | 450 | — | 45.9 | — |
| | | | | 5 | 450 | 455 | 4-15 | 55.8 | + 11.0 |
| | | | | — | — | 450 | — | 44.8 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 132.7 | — |
| 289* | 105 | 10 | 14 | 5 | 450 | 455 | 5 | 41.4 | + 4.9 |
| | | | | — | — | 450 | — | 36.5 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 148.2 | — |
| 290 | 200 | 6 | 19 | 30 | 450 | 480 | 3 | 61.6 | + 4.2 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3 | 68.7 | + 11.3 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3 | 60.1 | + 2.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 56.8 = 57.4 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 58.0 | |
| | | | | — | — | témoins | — | 133.2 | — |
| 291 | 200 | 9 | 16 | 30 | 450 | 480 | 8 | 105.7 | + 16.2 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3 | 106.1 | + 16.6 |
| | | | | — | — | 450 | — | 84.2 = 89.5 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 94.9 | |
| | | | | — | — | témoins | — | 138.3 | — |
| 292 | 360 | 7 | 15 | 30 | 450 | 480 | 3-30 | 80.5 | + 8.9 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3-30 | 94.5 | + 22.9 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3-30 | 88.8 | + 17.2 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3-30 | 89.8 | + 18.2 |
| | | | | — | — | 450 | — | 68.7 | |
| | | | | — | — | 450 | — | 62.4 = 71.6 | — |
| | | | | — | — | 450 | — | 77.4 | |
| | | | | — | — | 450 | — | 77.9 | |
| | | | | — | — | témoins | — | 179.7 | |

**Tableau XXXV** (1ère suite)

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyennes de croissance (en mm.) | Valeur de la protection (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 293 | 280 | 8 | 16 | 30 | 350 | 380 | 4-30 | 62.6 | + 7.0 |
| | | | | 30 | 350 | 380 | 5-15 | 71.7 | + 16.1 |
| | | | | 30 | 350 | 380 | 5-30 | 63.6 | + 8.0 |
| | | | | — | — | 350 | — | 49.8 | |
| | | | | — | — | 350 | — | 60.7 = 55.6 | — |
| | | | | — | — | 350 | — | 56.4 | |
| 294 | 70 | 8 | 16 | 30 | 350 | 380 | 4-30 | 66.0 | + 3.4 |
| | | | | — | — | 350 | — | 62.6 | — |
| 295 | 160 | 6 | 15 | 30 | 450 | 480 | 3-45 | 36.9 | + 5.9 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 4 | 37.0 | + 6.0 |
| | | | | — | — | 450 | — | 30.7 = 31.0 | |
| | | | | — | — | 450 | — | 31.3 | — |
| 296 | 200 | 7 | 15 | 30 | 450 | 480 | 4 | 54.0 | + 9.0 |
| | | | | 50 | 450 | 500 | 3.45 | 45.4 | + 0.4 |
| | | | | — | — | 450 | — | 41.3 = 45.0 | |
| | | | | — | — | 450 | — | 48.7 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 154.9 | — |
| 297* | 200 | 5 | 15 | 30 | 450 | 480 | 5 | 50.7 | + 21.4 |
| | | | | — | — | 450 | — | 29.3 | — |
| | | | | 30 | 350 | 380 | 5 | 93.7 | + 11.3 |
| | | | | — | — | 350 | — | 82.4 | — |
| 298* | 160 | 9 | 14 | 30 | 450 | 480 | 4-30 | 63.4 | + 17.4 |
| | | | | — | — | 450 | — | 45.9 | — |
| | | | | 30 | 300 | 330 | 4-30 | 98.1 | + 7.0 |
| | | | | — | — | 300 | — | 91.1 | — |
| 299* | 140 | 7 | 14 | 30 | 250 | 280 | 4-30 | 85.8 | + 6.7 |
| | | | | — | — | 250 | — | 79.1 | — |
| | | | | 30 | 350 | 380 | 4-30 | 59.4 | + 8.0 |
| | | | | — | — | 350 | — | 51.4 | — |
| 300* | 140 | 8 | 15 | 30 | 250 | 280 | 4-15 | 80.5 | + 3.5 |
| | | | | — | — | 250 | — | 77.0 | — |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 4-15 | 45.9 | + 6.3 |
| | | | | — | — | 450 | — | 39.6 | — |
| 301* | 105 | 7 | 14 | 30 | 450 | 480 | 4-30 | 33.8 | + 3.2 |
| | | | | — | — | 450 | — | 30.6 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 133.0 | — |
| 302* | 70 | 6 | 15 | 30 | 250 | 280 | 4 | 74.0 | + 7.3 |
| | | | | — | — | 250 | — | 66.7 | — |
| 303 | 175 | 13 | 14 | 30 | 400 | 430 | 0-30 | 54.6 | + 8.0 |
| | | | | 30 | 400 | 430 | 1-30 | 55.8 | + 9.2 |
| | | | | 30 | 400 | 430 | 3-30 | 55.4 | + 8.8 |
| | | | | 30 | 400 | 430 | 5 | 69.1 | + 22.5 |
| | | | | — | — | 400 | — | 46.6 | — |

**Tableau XXXV** **(2e suite)**

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyennes de croissance (en mm.) | Valeur de la protection (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 304 | 245 | 15 | 14 | 30 | 450 | 480 | 0-30 | 34.5 | + 4.7 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 1 | 38.7 | + 8.9 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 2 | 36.6 | + 6.8 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3 | 39.0 | + 9.2 |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 5 | 52.0 | + 22.2 |
| | | | | — | — | 450 | — | 29.8 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 110.0 | — |
| 305* | 70 | 6 | 14 | 30 | 450 | 480 | 4 | 42.0 | + 4.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 37.3 | — |
| 306* | 140 | 10 | 14 | 40 | 400 | 440 | 3 | 90.5 | + 4.4 |
| | | | | — | — | 400 | — | 86.1 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 3 | 50.3 | + 6.6 |
| | | | | — | — | 450 | — | 43.7 | — |
| 307* | 120 | 7 | 15 | 40 | 450 | 490 | 3-30 | 45.6 | + 11.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 33.9 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 116.3 | — |
| 308* | 80 | 12 | 15 | 40 | 450 | 480 | 1 | 49.6 | + 6.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 42.9 | — |
| 309* | 80 | 15 | 15 | 40 | 500 | 540 | 4 | 42.9 | + 7.9 |
| | | | | — | — | 500 | — | 35.0 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 170.0 | — |
| 310* | 280 | 10 | 15 | 40 | 450 | 490 | 4 | 52.2 | + 5.1 |
| | | | | — | — | 450 | — | 47.1 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 4 | 55.9 | + 9.3 |
| | | | | — | — | 450 | — | 46.6 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 4 | 54.9 | + 12.1 |
| | | | | — | — | 450 | — | 42.8 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 157.5 | — |
| 311* | 80 | 12 | 15 | 40 | 450 | 490 | 4 | 65.1 | + 11.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 53.4 | — |
| 312* | 350 | 10 | 14 | 40 | 450 | 490 | 3 | 54.9 | + 4.6 |
| | | | | — | — | 450 | — | 50.3 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 3 | 51.6 | + 4.9 |
| | | | | — | — | 450 | — | 46.7 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 3 | 65.1 | + 13.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 51.4 | — |
| | | | | 40 | 450 | 490 | 3 | 61.0 | + 18.5 |
| | | | | — | — | 450 | — | 42.5 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 153.3 | — |
| 313 | 120 | 5 | 14 | 50 | 450 | 500 | 3 | 65.6 | + 12.0 |
| | | | | 50 | 450 | 500 | — | 56.3 | + 2.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 53.6 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 142.9 | — |

**Tableau XXXV** (3e suite)

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Temps séparant les fractionnements (en heures et min.) | Racines : moyennes de croissance (en mm.) | Valeur de la protection (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 314 | 120 | 15 | 14 | 50 | 450 | 500 | 4-30 | 70.6 | + 7.1 |
| | | | | 50 | 450 | 500 | 4-30 | 73.8 | + 10.3 |
| | | | | — | — | 450 | — | 63.5 | — |
| 315 | 120 | 8 | 15 | 50 | 450 | 500 | 5 | 64.3 | + 3.5 |
| | | | | — | — | 450 | — | 60.8 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 157.2 | — |
| 316 | 120 | 4 | 14 | 50 | 450 | 500 | 3-45 | 77.1 | + 26.5 |
| | | | | 50 | 450 | 500 | 3-45 | 60.3 | + 9.7 |
| | | | | — | — | 450 | — | 50.6 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 153.5 | — |
| 317 | 90 | 10 | 14 | 50 | 350 | 400 | 3-30 | 92.6 | + 6.3 |
| | | | | 50 | 350 | 400 | 3-30 | 94.0 | + 7.7 |
| | | | | — | — | 350 | — | 86.3 | — |
| 318 | 160 | 5 | 14 | 50 | 450 | 500 | 4-15 | 33.2 | + 2.7 |
| | | | | 50 | 450 | 500 | 4-15 | 40.5 | + 10.0 |
| | | | | — | — | 450 | — | 30.5 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 150.0 | — |
| 319 | 120 | 2 | 15 | 100 | 450 | 500 | 24 | 73.7 | + 0.2 |
| | | | | — | — | 450 | — | 73.5 | — |
| | | | | — | — | témoins | — | 161.5 | — |

lot 2, une dose de 450 R. A cet effet, on dispose dans le fond du cristallisoir une lame de coton humide, sur laquelle on dépose d'un côté la moitié du lot 1 et de l'autre côté la moitié du lot 2, puis on soumet les plantes à l'irradiation. Celle-ci terminée, on recommence la même opération avec les moitiés restantes des 2 lots. Le lot 3 sert de témoin. Quinze jours après l'irradiation, j'ai mesuré la longueur des racines de chaque lot et calculé les moyennes de croissance. Elles ont été de 45,6 mm. pour le lot 1 ; de 33,9 mm. pour le lot 2 et de 116,3 mm. pour le lot 3. La différence de croissance manifestée entre les lots 1 et 2 est de 11,7 mm., en faveur du lot 1. Une irradiation de 40 R a donc protégé les germes contre une deuxième action des rayons. La valeur de la protection est ici de 11,7.

### 3. — Interprétation des résultats.

Le Tableau XXXV apporte 70 chiffres qui mettent en évidence l'effet protecteur d'une première irradiation envers une seconde

Les plantes, soumises à l'action d'une première dose faible 5, 10, 20, 30, 40, 50 R et ayant reçu au total 455, 460, 470, 480, 490 ou 500 R, sont toujours moins lésées que les plantes ayant reçu seulement 450 R (sauf dans trois cas, sur lesquels je reviendrai plus loin). Il est clair que, dans ces conditions d'expériences, on ne peut faire appel à une guérison de la lésion, puisqu'en admettant que l'effet de la première dose de 5, 10, 20, 30, 40 ou 50 R ait été totalement annihilé par guérison, la croissance des plantes aurait dû être égale dans les deux lots.

On pourrait supposer, d'autre part, que l'application de cette première dose faible de rayons a provoqué, chez les lentilles, une excitation au développement, suffisante pour expliquer les résultats obtenus. Bien des raisons s'opposeraient à cette manière de voir ; l'une d'elles suffit à la rejeter. C'est qu'aucune de ces doses ne possède la propriété d'exciter l'accroissement des plantes utilisées, ainsi que le démontrent les expériences que j'ai effectuées et relatées au chapitre I. Dans ces conditions, la dose de 450 R appliquée à des cellules préalablement soumises à l'action d'une petite dose de rayons X étant moins lésante que donnée à des lentilles non encore irradiées, il est logique de conclure que la cause de ce phénomène réside dans la diminution de sensibilité des cellules préalablement irradiées. Les nombreuses expériences que j'ai réalisées montrent, avec une grande netteté, l'existence de ce phénomène radio-phylactique.

Je tiens à insister sur le fait que je suis d'autant plus assurée de la valeur de ces résultats que je me suis efforcée d'éviter les causes d'erreur relatives :

1° A la méthode de mesure des rayons ;

2° Au fait que l'objet utilisé présente des différences individuelles dans l'intensité des réactions à une même dose de rayons X.

Pour éviter toute erreur dans le dosage des rayons, j'ai procédé, en effet, selon la technique 2, en irradiant *ensemble* le lot préalablement soumis à une faible dose de rayons et le lot non encore irradié (lots types 1 et 2 des descriptions de technique). Les plantes ont reçu, dans ces conditions, exactement la même quantité de rayons. L'ionomètre enregistrant la dose appliquée n'a donc servi, dans ce cas, qu'à me renseigner sur l'ordre de grandeur de la dose donnée.

J'ai voulu juger, d'autre part, de l'étendue des variations individuelles présentées par les lentilles, dans l'intensité des réactions, à une même dose de rayons X. J'ai, dans ce but, fait l'expérience suivante :

**Expérience 320.** — 240 lentilles germées de 8 mm. de longueur de racine sont divisées en 6 lots de quarante graines chacun. Ils sont successivement irradiés avec une dose de 450 R. Cultivés sur eau, dans les mêmes conditions, pendant quinze jours, les moyennes de croissance des racines des divers lots ont été respectivement de : 21,5 ; 24,7 ; 23,5 ; 21,6 ; 22,3 ; 21,2. On voit que la différence la plus forte existant entre ces divers lots est de 3,5 mm. Les variations présentées par les divers lots, quoique non négligeables, ne sont pourtant pas de bien forte intensité, les lentilles germées étant, comme j'ai déjà eu maintes fois l'occasion de le faire remarquer, un excellent objet d'études. Ainsi qu'on peut en juger dans le Tableau XXXV, l'effet protecteur est, dans la majorité des cas, supérieur à cet ordre de variations. Dans quelques cas cependant, il s'en trouve voisin, mais, comme les résultats sont tous dans le même sens et que, d'autre part, les expériences sont très nombreuses, il est certain qu'ils sont indépendants des variations individuelles.

*Je conclurai donc à l'existence d'un phénomène de radiophylaxie après l'action première d'une faible dose de rayons X de* 0,13 *à* 0, 25 *U.Å.*

**Persistance de la proportionnalité des lésions avec les doses.**

L'existence de la radiophylaxie étant ainsi mise en évidence, la question se posait, de savoir si la loi de la proportionnalité des lésions avec les doses s'observait encore après la manifestation de la réaction radiophylactique. J'ai, dans ce but, fait l'expérience suivante :

**Expérience 321.** — 360 lentilles de 6 mm. de longueur de racine sont divisées en neuf lots. Le lot 1 sert de témoin. Les huit autres lots sont irradiés avec 50 R, puis, trois heures plus tard, ils reçoivent, à nouveau, 50 R pour le lot 2, 100 R pour le lot 3, 150 R pour le lot 4, 200 R pour le lot 5, 250 R pour le lot 6, 300 R pour le lot 7, 350 R pour le lot 8 et 400 R pour le lot 9. Les plantes ont ensuite été cultivées sur eau, dans les mêmes conditions. Quinze jours plus tard, j'ai mesuré la croissance moyenne des racines. Elle était de 118,8 mm. pour le lot témoin (lot 1) ; de 99,4 mm. pour le lot 2 ; de 83,4 mm. pour le lot 3 ; de 80,2 mm. pour le lot 4 ; de 72,9 mm. pour le lot 5 ; de 65,0 mm. pour le lot 6 ; de 50,3 mm. pour le lot 7 ; de 43,3 mm. pour le lot 8 et de 36,9 mm. pour le lot 9. J'ai traduit ces résultats en courbe, en portant en ordonnées les moyennes de croissance et en abscisses la valeur de la deuxième dose.

La figure V est une droite presque rigoureuse. Elle montre que, trois heures après l'application d'une première dose de 50 R, l'intensité

des lésions demeure proportionnelle aux doses de rayons appliquées. La réaction radiophylactique n'a donc pas modifié la loi de la proportionnalité des lésions avec les doses que j'ai mise en évidence

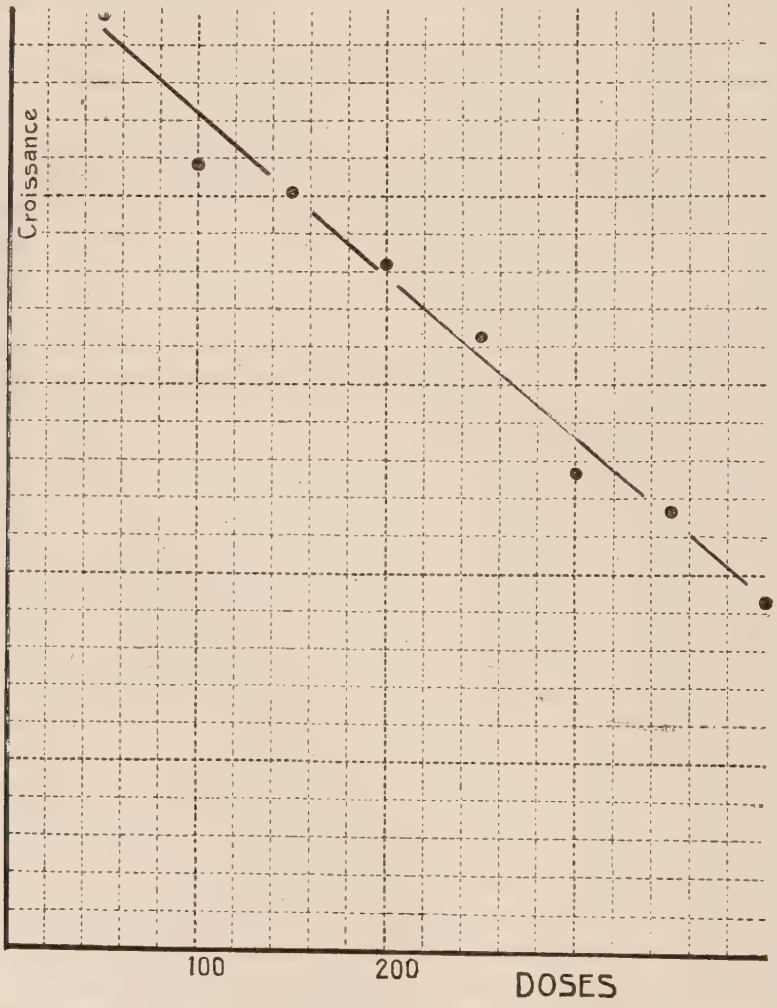



**Fig. V.** — *Proportionnalité de la lésion en fonction de la dose après application d'une dose première commune de* 50 *R.*

En ordonnées : Croissance (en mm.).
En abscisses : Doses secondes (en R).

au chapitre II. Si l'effet protecteur, manifesté après une irradiation de 50 R, est bien dû à une diminution de sensibilité des cellules, l'obtention de ce résultat se conçoit en effet ; les plantes étant désensibilisées de la même manière, l'application des doses secondes produit

des lésions qui demeurent proportionnelles à la dose de rayons appliquée avec diminution, toutefois, de l'intensité générale des effets lésants.

B. — ÉTUDE DE LA RADIOPHYLAXIE FAITE SUR ALLIUM CEPA.

J'ai cherché à mettre en évidence le phénomène de radiophylaxie par des expériences pratiquées sur des racines d'oignons. Ces essais sont forcément moins précis que ceux effectués sur des lentilles, car le nombre d'objets utilisés dans une expérience est beaucoup plus restreint, étant donnée la taille des bulbes d'oignons.

### 1. — Technique.

12 oignons sont mis en développement sur une réglette de bois percée de trous et placée sur une grande cuve à eau. Lorsque les racines atteignent une longueur suffisante (40 à 50 mm. en moyenne), on sectionne toutes les racines moins deux à chaque objet, puis on fait trois lots d'oignons. Le lot 1 est un témoin ; le lot 2 reçoit une première dose de 15, 20 ou 50 R, puis, après un temps variable avec les expériences, on lui applique, en même temps qu'au lot 3, une dose variant de 250 à 300 R. Les oignons sont cultivés ensemble, dans les mêmes conditions. L'accroissement de chaque racine a été mesuré chaque jour. Lorsque la croissance des racines des lots irradiés fut définitivement arrêtée, on mit fin à l'expérience.

### 2. — Résultats.

Les résultats sont relatés dans le Tableau XXXVI. J'y ai mentionné le nombre de racines sur lequel j'ai expérimenté, le jour où l'expérience a pris fin, la valeur de la première dose de rayons appliquée, celle de la seconde et la valeur de la dose totale. J'ai relaté, en outre, l'intervalle de temps séparant la première de la seconde irradiation. Les deux dernières colonnes indiquent, l'une la moyenne d'accroissement des racines de chaque lot, depuis l'irradiation jusqu'à la fin de l'expérience, l'autre la valeur de la protection.

Les expériences que j'ai effectuées sur les oignons n'ont pas donné de résultats nets, aussi n'ai-je pas continué à expérimenter sur cet objet. Il est très possible que le phénomène de radiophylaxie ne se produise que dans des conditions bien déterminées, susceptibles de varier, dans des limites plus ou moins étroites, avec les divers objets. Aussi, désirant rechercher quelles étaient les conditions expérimentales, dans lesquelles l'effet protecteur se manifestait le plus intensément, j'ai choisi, pour entreprendre cette étude, Lens esculata qui m'avait donné des résultats beaucoup plus précis qu'Allium cepa.

## TABLEAU XXXVI

| Expériences | Nombre de racines | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Intervalle séparant les deux irradiations (en heures et minutes) | Racines : accroissement moyen depuis l'irradiation (en mm.) | Valeur de la protection (en mm.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 322* | 24 | 9 | 50 | 300 | 350 | 3–30 | 24.8 | + 1.8 |
| | | | | | 300 | | 23.0 | — |
| | | | | | témoins | | 204.0 | — |
| 323* | 24 | 7 | 50 | 280 | 330 | 67–30 | 23.2 | — 2.0 |
| | | | | | 280 | | 25.2 | — |
| | | | | | témoins | | 71.5 | — |
| 324* | 24 | 16 | 20 | 250 | 270 | 5 | 35.2 | + 0.1 |
| | | | | | 250 | | 35.1 | — |
| | | | | | témoins | | 173.1 | — |
| 325* | 24 | 12 | 20 | 250 | 270 | 48 | 28.0 | + 8.3 |
| | | | | | 250 | | 19.7 | — |
| | | | | | témoins | | 141.9 | — |
| 326* | 40 | 10 | 15 | 300 | 315 | 9–30 | 23.7 | — 0.1 |
| | | | | | 300 | | 23.8 | — |
| | | | | | témoins | | 109.6 | — |

## II. — ÉTUDE DES CONDITIONS OPTIMA POUR LA PRODUCTION DU PHÉNOMÈNE RADIOPHYLACTIQUE.

J'ai, dans cette étude, recherché l'influence de divers facteurs sur l'intensité du phénomène radiophylactique. J'ai envisagé successivement :

1° L'action des doses premières et secondes ;

2° L'action du temps écoulé entre la première et la seconde irradiation ;

3° L'action de la température entre la première et la seconde irradiation.

### A. — Action des doses premières et secondes.

J'ai, tout d'abord, étudié l'action de la dose première sur l'intensité de la radiophylaxie. J'ai recherché, après l'application de quelles quantités de rayons, on observait la production du phénomène radiophylactique. Les expériences, que j'ai réalisées à ce sujet, ont été faites selon les techniques relatées précédemment (page 191) ; elles sont résumées dans le Tableau XXXV. Il s'en dégage un certain nombre de faits.

Tout d'abord, on remarque que la plus faible dose de rayons appliquée a été de 5 R (expériences 284 à 289). L'effet protecteur s'est manifesté, dans toutes ces expériences, à l'exception d'une seule (expérience 286) ; je noterai que, dans cet essai, la température, dans laquelle les plantes ont séjourné entre la première et la seconde irradiation, était de 18°, alors qu'elle atteignait 25° ou 27° dans les autres expériences. La dose de 5 R est donc protectrice mais, seulement, dans certaines conditions.

En second lieu, on remarque que, dans l'expérience 319 où la dose protectrice était de 100 R, les moyennes de croissance des lots irradiés ont été sensiblement les mêmes. On voit que le lot irradié avec une dose de 100 R et soumis, 24 heures plus tard, à l'action d'une dose de 450 R (soit 550 R au total) mesurait 73,7 mm., alors que les plantes irradiées avec une dose de 450 R seulement, atteignaient 73,5 mm. de longueur de racine. Ceci s'explique par le fait que 100 R est une dose lésante pour les germes de lentilles ; la lésion se manifestant ainsi que la réaction radiophylactique, l'effet total s'est montré nul dans cette expérience. Tout se passe, comme si les premiers 100 R n'avaient pas été donnés. Il en résulte que, pour mettre en évidence le phénomène de radiophylaxie, la dose de 100 R est une dose trop forte ; si elle désensibilise les cellules de la plantule elle les lèse suffisamment, pour que l'effet protecteur ne se manifeste pas par une moyenne de croissance plus élevée. D'une manière générale, les expériences que j'ai réalisées ont toujours mis en évidence l'effet protecteur pour des doses premières de 20, 30 ou 40 R.

J'ai recherché, en second lieu, si l'intensité de la réaction radiophylactique variait après l'application de doses secondes différentes. J'ai, dans ce but, réalisé les expériences 297, 298, 299, 300, 306.

Je décrirai **l'expérience 297.** — 200 lentilles germées de 5 mm. de longueur de racine sont divisées en quatre lots. Le lot 1 reçoit 30 R, puis ,cinq heures plus tard, on lui applique 450 R en même temps qu'au lot 2. Le lot 3 reçoit 30 R, puis, cinq heures plus tard, on lui applique 350 R en même temps qu'au lot 4. Cultivées ensemble sur eau, la croissance des racines, quinze jours après l'irradiation, était de 50,7 mm. pour le lot 1 ; de 29,3 mm. pour le lot 2, soit une différence de 21,4 mm. en faveur du lot 1. La longueur moyenne des racines du lot 3 était de 93,7 mm. et celle du lot 4 de 82,4 mm., soit une différence de 11,3 mm. en faveur du lot 3. Cette expérience montre donc que des lentilles, protégées par une dose de 30 R, accusent une protection légèrement plus forte après l'action d'une dose seconde de 450 R que de 350 R. Ce fait est en accord avec l'hypothèse de la radio-

phylaxie ; il est, en effet, logique que l'effet protecteur se marque plus nettement lorsque la dose lésante s'élève. Toutefois, ce phénomène s'observe avec une amplitude plus grande, dans les expériences 298 et 297, que dans les autres essais. Dans ces deux expériences, la température des plantes dans l'intervalle de temps séparant les deux irradiations était celle du laboratoire (20° en moyenne), alors que, dans les autres essais, elle a été portée à 27°. De ces faits, je conclurai que :

1° *L'application de doses de* 20, 30 *ou* 40 *R a toujours entraîné l'apparition du phénomène radiophylactique.*

2° *Pour une même dose première protectrice, l'intensité de la radiophylaxie s'est élevée avec l'augmentation de la dose seconde dans les conditions expérimentales où je me suis placée.*

### B. — Action du temps écoulé entre la première et la seconde irradiation.

La réaction radiophylactique étant une réaction organique, doit, ainsi que l'ai déjà signalé, dans l'étude des doses fractionnées, demander un certain temps pour se manifester dans toute son ampleur. J'ai recherché, dans le cas des nouvelles conditions expérimentales où je me suis placée (petite irradiation préalable à un lot 1, puis application ultérieure d'une dose lésante faite à ce même lot 1 et à un lot 2), comment variait l'intensité de la radiophylaxie avec le temps écoulé entre l'application de la dose protectrice et celle de la dose lésante. J'ai fait, à ce sujet, les expériences 303 et 304, qui sont relatées dans le Tableau XXXV. Je décrirai **l'expérience 304 :**

245 lentilles sont divisées en 7 lots. Le lot 1 reçoit 30 R, puis, 30 minutes après, 450 R. Le lot 2 reçoit 30 R, puis, une heure après, 450 R. Le lot 3 reçoit 30 R, puis, deux heures plus tard, 450 R. Le lot 4 reçoit 30 R, puis, 3 heures plus tard, 450 R. Le lot 5 reçoit 30 R, puis, cinq heures plus tard, 450 R. Le lot 6 reçoit seulement 450 R. Le lot 7 est un lot témoin. Les plantes ont été cultivées toutes ensemble sur eau. Quatorze jours après l'irradiation, j'ai mesuré la croissance des racines. Elle était de 34,5 mm. pour le lot 1 ; de 38,7 mm. pour le lot 2 ; de 36,6 mm. pour le lot 3 ; de 39,0 mm. pour le lot 4 ; de 52,0 mm. pour le lot 5 ; de 29,8 mm. pour le lot 6 ; de 110,0 mm. pour le lot 7. La valeur de la protection a donc été de 4,7 mm. pour le lot 1 ; de 8,9 mm. pour le lot 2 ; de 6,8 mm. pour le lot 3 ; de 9,2 mm. pour le lot 4 ; de 22,2 mm. pour le lot 5. On voit donc, dans cette expérience, que l'effet protecteur maximum s'est manifesté pour les irradiations faites à 5 heures d'intervalle.

L'expérience 303 met en évidence un fait identique.

*Ces essais prouvent donc, parallèlement à ceux effectués au chapitre précédent, que la réaction radiophylactique demande un certain temps pour se manifester dans toute son ampleur.* Il est possible que le temps optimum nécessaire à la réalisation complète de cette réaction varie avec les objets et les conditions expérimentales. Il apparaît donc utile d'instituer des expériences, semblables à celle que je viens de décrire, pour connaître ce temps et se placer ainsi dans les meilleures conditions d'étude du phénomène radiophylactique.

### C. — Action de la température entre la première et la seconde irradiation.

L'étude antérieure, faite sur l'action des doses fractionnées (chapitre IV), ayant montré que l'effet protecteur, nul ou à peu près nul à de basses températures, se manifestait nettement à des températures de 24 à 31°, j'ai recherché, si le même phénomène se retrouvait dans les nouvelles conditions expérimentales que j'ai instituées (petite irradiation préalable à un lot 1 type, puis application ultérieure d'une dose lésante à ce même lot 1 en même temps qu'à un lot 2). J'ai dans ce but expérimenté de la manière suivante. Je détaillerai, pour plus de précision, **l'expérience 330.**

175 lentilles de 8 mm. de longueur de racine sont divisées en cinq lots de 35 objets chacun. Le lot 1 et le lot 2 sont placés à la glacière à une température de 4° pendant une heure ; le lot 1 reçoit ensuite 30 R, puis est replacé, à côté du lot 2, à la température de 4° pendant 4 heures ; ce temps écoulé, on applique, en même temps, au lot 1 et au lot 2 une dose de 450 R. Parallèlement, les lots 3 et 4 sont placés à une température de 25° pendant une heure ; le lot 3 reçoit ensuite 30 R, puis est replacé, pendant 4 heures, à côté du lot 4, à la température de 25° ; ce temps écoulé, on applique, en même temps, aux lots 3 et 4 une dose de 450 R. Le lot 5 est un lot témoin. Les plantes sont ensuite cultivées ensemble sur eau. Quatorze jours plus tard, j'ai mesuré la longueur moyenne des racines de chaque lot. Les croissances ont été de 29,2 mm., pour le lot 1 ; de 32,6 mm., pour le lot 2, soit une différence de 3,4 mm. en faveur du lot 2. Le lot 3 mesurait 39,6 mm., le lot 4 n'avait que 33,5 mm., soit une différence de 6,1 mm. en faveur du lot 3. Le lot témoin mesurait 135,8 mm. On voit donc que les plantes du lot 1, placées à une température de 4°, entre les deux irradiations, n'ont pas été protégées, elles se montrent, au contraire, plus lésées comme on doit s'y attendre lorsque l'effet protecteur ne peut se manifester, la dose donnée au lot 1 étant lé-

# TABLEAU XXXVII

| Expériences | Nombre d'objets | Longueur des germes irradiés (en mm.) | Jour de mesure | Dose I (en R) | Dose II (en R) | Dose totale (en R) | Intervalle séparant les deux irradiations (en heures et minutes) | Température des lots pendant le temps séparant les deux irradiations | Racines : moyenne de croissance (en mm.) | Valeur de la protection |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 327* | 210 | 7 | 14 | 30 | 450 | 480 | 3 | 2° | 29.5 | — 4.5 |
| | | | | | | 450 | 3 | 2° | 34.0 | — |
| | | | | 30 | 450 | 480 | — | 36° | 49.7 | + 10.7 |
| | | | | | | 450 | — | 36° | 39.0 | — |
| | | | | | | témoins | — | 36° | 163.3 | — |
| | | | | | | témoins | — | — | 154.2 | — |
| 328* | 120 | 10 | 14 | 5 | 400 | 405 | 4 | 16° | 29.7 | + 2.2 |
| | | | | | | 400 | — | 16° | 27.5 | — |
| | | | | 5 | 400 | 405 | 4 | 37° | 45.9 | + 16.8 |
| | | | | | | 400 | — | 37° | 29.1 | — |
| 329* | 140 | 6 | 14 | 30 | 450 | 480 | 3-15 | 10° | 32.2 | — 0.4 |
| | | | | | | 450 | — | 10° | 32.6 | — |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 3-15 | 37° | 41.8 | + 7.6 |
| | | | | | | 450 | — | 37° | 34.2 | — |
| 330* | 175 | 8 | 14 | 30 | 450 | 480 | 4 | 4° | 29.2 | — 3.4 |
| | | | | | | 450 | — | 4° | 32.6 | — |
| | | | | 30 | 450 | 480 | 4 | 25° | 39.6 | + 6.1 |
| | | | | | | 450 | — | 25° | 33.5 | — |
| | | | | | | témoins | — | — | 135.8 | — |

gèrement plus forte. Il en est autrement pour les lentilles du lot 3 placées à 25° pendant 4 heures après l'application de la dose protectrice de 30 R ; ces plantes accusent, en effet, une diminution de lésion.

Le même fait se retrouve dans toutes les expériences que j'ai effectuées sur le même type que l'essai 330 et que résume le Tableau XXXVII. J'ai mentionné, dans ce Tableau, le nombre d'objets sur lequel j'ai expérimenté, la longueur des germes irradiés, le jour de la mesure, la valeur de la première dose de rayons appliquée, celle de la seconde, et celle de la somme de ces deux doses ; j'ai indiqué, en outre, l'intervalle de temps séparant la première de la seconde irradiation, la température des divers lots pendant ce temps. Les deux dernières colonnes renferment, l'une, la moyenne de croissance des racines de chaque lot, l'autre la valeur de la protection, c'est-à-dire la différence de croissance entre les lots soumis ensemble à la même irradiation lésante (lots types 1 et 2 de la description de technique 2, page 191).

L'examen de ce Tableau montre nettement qu'à des températures basses à 2°, 4° et même 10°, l'effet protecteur ne se manifeste pas, il apparaît même que les plantes, soumises à une première dose de 30 R, sont plus lésées après séjour à une température de 2° ou 4°. Au contraire, les lentilles préalablement irradiées avec 5 ou 30 R et placées, ensuite, à 25° ou 37° apparaissent nettement protégées. Or, à basse température, l'intensité des échanges est faible, tandis qu'à température élevée, 25° ou 37°, elle est bien plus intense ; on en déduit logiquement que *l'effet protecteur est fonction de l'activité physiologique de la plante. Si elle est mise dans l'impossibilité de réagir, entre l'application de la première dose et celle de la dose lésante, la réaction biologique ne pouvant avoir lieu, l'effet protecteur ne se manifeste pas.* Ces résultats expérimentaux nous permettent donc de comprendre le mécanisme de la réaction radiophylactique.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Les expériences que j'ai réalisées avec des rayons X de 0,13 à 0,25 U. A. ont montré que :

## Chapitre I.

1° De faibles doses de rayons X de 1/12 à 20 H ne hâtent pas la vitesse d'apparition du germe de graines sèches ou gonflées de Phaseolus vulgaris, Brassica napus, Lens esculata, Panicum miliaceum, Lepidium sativum.

2° Des doses de rayons X de 1/60 à 150 H n'ont pas accéléré la vitesse de croissance de Lens esculata, Triticum sativum, Phaseolus vulgaris, irradiés à l'état de graines sèches ou germées.

3° Des doses de 1 à 5 H appliquées à des germes de Lens esculata ou de Phaseolus vulgaris, dont on avait sectionné la racine avant l'apparition des radicelles, n'ont pas hâté la formation des radicelles. Il n'y a pas eu excitation à la régénération.

4° L'irradiation de germes de Lens esculata de 10 mm. de longueur de tige par une dose de 8 à 13 H, la racine étant protégée par une lamelle de caoutchouc plombé, détermine le développement des deux bourgeons situés au bas de la tige, près des cotylédons. Ce fait ne doit pas être interprété comme un phénomène d'excitation cellulaire directe mais comme un phénomène de suppléance consécutif à la lésion de la tige.

De tous ces résultats, découle la conclusion générale que l'action biologique de faibles doses de rayons X ne se traduit pas sur les plantes comme la plupart des auteurs l'ont défendu par une accélération du développement cellulaire.

---

## Chapitre II.

1° Les rayons X ne modifient pas la vitesse d'apparition du germe.

2° L'action des doses moyennes et fortes se manifeste par un retard ou un arrêt de croissance.

3° L'effet lésant est d'autant plus marqué qu'est plus grande la quantité de rayons X appliquée au végétal. Toutefois, si la dose dépasse une certaine limite, il n'apparaît plus de différences appréciables dans la manifestation de la radiolésion.

4° Des plantes d'espèces différentes, à un même état de développement, réagissent avec une intensité différente à l'application d'une même dose de rayons X.

5° La lésion est sensiblement proportionnelle à la dose de rayons X appliquée. Cette proportionnalité n'existe plus pour les fortes doses, qui tuent rapidement la plante.

6° Lens esculata manifeste toujours un certain accroissement, même après l'application d'une dose dix fois supérieure à celle, qui arrête la croissance de la plante 48 heures après l'irradiation ; la taille des racines et des tiges oscille, dans ce cas, autour de 14 mm. de long.

7° La détermination de la longueur des radicelles constitue un des tests les plus sensibles de l'action des rayons X sur les plantes. A son défaut, les mesures de croissance effectuées sur les racines donnent des résultats plus nets et plus précis que les déterminations faites sur l'accroissement des tiges.

8° De même que Strangeways et Oakley, sur des cultures de tissus, j'ai constaté que l'action des rayons X se traduit, pour de faibles irradiations, par une diminution du nombre des cinèses ; les lésions des cellules en mitose n'apparaissent qu'avec des doses plus élevées.

9° Parallèlement aux travaux d'Alberti et Politzer sur la cornée de larves d'Urodèles, j'ai établi l'existence et l'évolution de trois phases successives. La première suit, plus ou moins rapidement, l'irradiation et est essentiellement caractérisée par des picnoses. — La seconde est marquée par une absence totale des mitoses ; elle est d'autant plus longue que la dose a été plus forte. — La troisième est caractérisée par une reprise des cinèses ; les lésions observées, au cours de cette phase, sont surtout représentées par des troubles dans l'ascension des chromosomes aboutissant à la constitution de noyaux accessoires.

10° Les doses de rayons X utilisées, appliquées aux racines d'Allium cepa peuvent être divisées en trois catégories :

a) *Doses léthales*, arrêtant la croissance en quelques jours (300 R et doses supérieures). Dans les conditions expérimentales où je me suis placée, la première phase cinétique dure 12 heures. La phase acinétique se prolonge de deux à sept jours suivant les doses. La seconde phase cinétique est caractérisée par des mitoses dégénératives. L'accroissement des racines, après l'irradiation, s'explique par un allongement des cellules divisées depuis peu.

b) *Doses lésantes*, retardant la croissance et pouvant même l'arrêter après un temps relativement long (doses supérieures à 100 R jusqu'à 300 R). La première phase cinétique dure 12 heures, la phase acinétique de 24 à 48 heures. La seconde phase cinétique comprend des mitoses anormales, mais il existe des cinèses normales et en nombre d'autant plus grand que la dose employée est plus faible, ce qui permet à la racine de poursuivre sa croissance avec plus ou moins d'intensité.

*

c) *Doses indifférentes*, n'ayant pas un retentissement net sur l'accroissement (100 R et doses inférieures). On n'observe, dans ce cas, qu'une diminution temporaire de l'activité mitotique ; les cinèses demeurent normales, et l'intensité de l'accroissement n'est pas modifiée.

---

## Chapitre III.

1° La sensibilité d'une plante aux rayons X varie avec l'état de son développement. Les graines sèches, gonflées et germées sont, en effet, différemment lésées par la même dose de rayons X.

2° A une même période de développement, les plantes de diverses espèces ne possèdent pas la même radiosensibilité.

3° Les graines d'une même espèce, soumises à l'action du gonflement, sont d'autant plus radiosensibles que le temps, pendant lequel elles ont été soumises à l'hydratation, a été plus long.

4° Des germes de Lens esculata présentent aux rayons X des sensibilités variables avec l'état de leur développement. C'est au stade de 10 mm. de longueur de racine et non pas au début de la germination que se place l'optimum de radiosensibilité.

5° L'irradiation des réserves avec de très fortes doses permet un développement normal de Lens esculata, alors que celle de la tige et de la racine, avec de bien plus faibles doses, arrête rapidement toute croissance de la plante.

6° La plus ou moins grande épaisseur de la couche cellulosique n'influence pas la radiosensibilité de Lens esculata.

7° La plus ou moins grande abondance de chlorophylle ne modifie pas la radiosensibilité de Lens esculata.

8° Dans l'état actuel de nos connaissances, il est impossible d'apporter une contribution valable sur la sensibilité comparée des cellules au repos et des cellules en caryocinèse par des expériences effectuées sur des tissus végétaux.

9° Contrairement aux conclusions de Nadson et Zolkevie, le chlorure de potassium n'a pas diminué la sensibilité des lentilles aux rayons X.

10° Parallèlement à la sensibilité, la teneur en eau chez Lens esculata augmente des graines gonflées aux germes de 10 mm. de longueur de racine ; elle continue à s'élever légèrement pour des germes de 20 et 30 mm. contrairement à la sensibilité. Il en résulte que l'optimum de sensibilité manifesté par les lentilles de 10 mm. de

longueur de racine n'est pas dû à la plus grande hydratation des plantes de ce stade.

11° La sensibilité d'une plante aux rayons X est indépendante de l'intensité de ses échanges. Elle est, au contraire, en relation étroite avec la structure physico-chimique de ses cellules (hydratation, composition chimique).

---

## Chapitre IV.

1° La lésion créée chez une plante, par une irradiation, n'est visible qu'après une certaine évolution de l'objet irradié (observations macroscopiques et microscopiques). Elle doit exister dès l'irradiation, mais ne se manifeste à nous qu'après une certaine période d'activité cellulaire.

2° La manifestation de la lésion apparaît d'autant plus vite que la dose est plus forte. La diminution du nombre des mitoses après irradiation est, en effet, d'autant plus rapide que la dose appliquée a été plus grande.

3° Il est possible de reculer, à volonté, la manifestation de la lésion en maintenant la plante en état de vie latente. La lésion se conserve intacte.

4° L'intensité de la manifestation des lésions varie avec le temps écoulé après l'irradiation. Pour des doses faibles, elle n'est visible, avec certitude, que sur les radicelles et diminue avec le temps. Pour des doses moyennes et fortes, elle augmente sur les racines et les tiges avec le temps écoulé depuis le moment de l'irradiation. Pour des doses moyennes, elle se stabilise après un certain temps sur les racines et diminue sur les radicelles.

5° La lumière n'influe pas sur la manifestation de la lésion.

6° Le potassium n'est pas un antagoniste des rayons X, en ce qu'il ne diminue pas l'effet lésant créé par une irradiation chez Lens esculata.

7° Une lésion (mutilation ou dessiccation) créée, chez une plante préalablement irradiée avec des rayons X, donne naissance à une manifestation de lésion de plus grande intensité que celle devant résulter de la sommation des deux effets lésants.

8° Une dose de rayons X, donnée en une seule fois, pendant un temps court avec une forte intensité produit un effet lésant beaucoup plus grand que la même dose appliquée en un temps long avec une faible intensité, ce qui m'a paru pouvoir s'exprimer par la loi sui-

vante : *L'étalement de la dose de rayons X, dans le temps, a pour effet de diminuer l'intensité de la reaction biologique.*

9° Le fractionnement de la dose de rayons X produit, chez les plantes en voie d'évolution, un effet lésant moindre que la même dose donnée en une seule fois.

10° La diminution de la manifestation de la lésion, apparaissant après l'action de doses fractionnées, s'explique par l'existence d'un phénomène de radiophylaxie : une première irradiation diminue la sensibilité des plantes à l'action des rayons.

11° L'effet protecteur ne s'est manifesté dans toute son ampleur que trois heures après l'irradiation, dans les conditions expérimentales où je me suis placée. La réalisation complète de la réaction radiophylactique est donc fonction du temps.

12° La température, dans laquelle les plantes séjournent entre deux fractionnements, s'effectuant à trois heures d'intervalle, a une influence considérable sur l'intensité de la radiophylaxie. L'effet protecteur est plus grand pour les plantes ayant séjourné à température élevée (24 à 31°).

13° L'effet protecteur se produit même après l'application d'une première dose très faible de rayons (10 ou 30 R).

14° Le mode de fractionnement de la dose a une action très nette sur l'intensité de la radiophylaxie. L'effet protecteur est très variable pour des fractionnements effectués en deux parties inégales. On remarque en effet que :

*a*) L'effet protecteur augmente avec l'élévation de la dose première pour des doses allant de 10 à 100 R. Il n'apparaît donc pas que, dans les conditions de mes expériences, une dose première quelconque réalise totalement la réaction radiophylactique.

*b*) L'effet protecteur diminue très nettement au fur et à mesure que la dose seconde est de plus en plus inférieure à la dose première.

Corrélativement, pour des doses premières égales, l'effet protecteur est d'autant plus grand que la dose seconde est plus élevée.

---

## Chapitre V.

1° *Existence de la radiophylaxie* : L'application à une cellule d'une petite dose de rayons X la protège contre l'action nocive d'une irradiation ultérieure. Des lentilles, irradiées avec une dose de 30 R, puis soumises, plusieurs heures plus tard, à l'action d'une dose lésante

de 450 R, se sont toujours montrées moins lésées que des germes ayant reçu seulement 450 R. Ces résultats sont à l'abri d'une cause d'erreur de dosage, les deux lots irradiés ayant été soumis ensemble à l'action des rayons.

2° L'effet protecteur, manifesté par les plantes soumises à une première irradiation de 20, 30 ou 40 R, ne peut être expliqué par une guérison de lésion, car en admettant que l'effet de ces doses (20, 30 ou 40 R) soit totalement annihilé par guérison, la croissance des plantes devrait être égale dans tous les lots irradiés. De même, l'irradiation première faible ne peut être considérée comme excitante et susceptible de contrebalancer plus ou moins l'effet nocif de la seconde irradiation, mes expériences antérieures ayant mis en évidence l'absence d'effet excitant de ces faibles doses. Le mécanisme de cette protection m'apparaît résider dans une diminution de la sensibilité des cellules après une première irradiation.

3° La loi de la proportionnalité des lésions avec les doses n'est pas modifiée par la réaction radiophylactique ; après l'application d'une même première dose faible, les lésions augmentent proportionnellement aux secondes doses ajoutées.

4° L'étude des conditions optima pour la production du phénomène radiophylactique chez Lens esculata a montré que :

*a*) L'irradiation protectrice doit être donnée par une dose de 20 à 40 R.

*b*) L'effet protecteur est plus marqué lorsque la dose seconde est plus élevée ; il est plus intense pour 450 R que pour 300 R par exemple.

*c*) L'effet protecteur ne se manifeste, dans toute son intensité, qu'après l'écoulement d'un certain temps entre l'irradiation protectrice et la seconde irradiation.

*d*) La réaction radiophylactique ne peut se manifester si les cellules sont placées à une température où leur métabolisme est fortement réduit. *Elle est fonction de l'activité physiologique de la cellule, contrairement à la radiosensibilité qui en est indépendante.*

# INDEX BIBLIOGRAPHIQUE


1. Albers-Schœnberg, Röntgenstrahlenwirkung auf Gärtenerde. *Fortschritte a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1910/11, t. 16, p. 284.
2. Alberti et Politzer, Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung. *Arch. f. mikr. Anatomie*, 1923, t. 100, p. 83.
3. —— et ——, Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf die Zellteilung. II. Mitteilung. *Arch. f. mikr. Anatomie*, 1924, t. 103, p. 284.
4. —— et ——, Das zweckmässige Interval. bei mehrzeitigen Bestrahlung maligner Tumoren. *Strahlentherapie*, 1926, t. 21, p. 535.
5. Altmann, Rochlin et Gleichgewicht, Über den entwicklungsbeschleunigenden und entwicklungshemmenden Einfluss der Röntgenstrahlen. *Fortschritte a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1923/24, t. 13, p. 1.
6. Amato, Über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf in Karyokinese begriffene Zellen. *Zeitschrift f. Röntgenkunde*, 1911, t. 13, p. 1.
7. Ancel, P. et Vintemberger, P., Influence de l'activité cellulaire sur la manifestation des lésions produites dans le blastoderme de l'œuf de Poule par les rayons X. *C. R. Soc. Biologie*, 1924, t. 91, p. 1425.
8. —— et ——, Action accélératrice des rayons X sur le développement embryonnaire. *C. R. Soc. Biologie*, 1924, t. 91, p. 606.
9. —— et ——, La sensibilité d'une cellule aux rayons X est-elle plus grande au cours de la mitose que pendant le repos? *C. R. Soc. Biologie*, 1925, t. 91, p. 1271.
10. —— et — —, Étude de l'action des rayons X sur le développement embryonnaire. Les rayons X ont-ils une action accélératrice? *Archives de Biologie*. Liège, 1925, t. 35, p. 1-43.
11. —— et ——, Sur la radiosensibilité cellulaire. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 92, p. 517.
12. —— et ——, Sur la radiosensibilité des cellules en caryocinèse. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 92, p. 986.
13. —— et ——, Influence de la rapidité d'évolution de l'œuf irradié de Rana sur la durée de sa survie. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 93, p. 281.

14. —— et ——, Sur l'effet du fractionnement des doses de rayons X et l'hypersensibilité des cellules en mitose. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 99, p. 852.

15. Ancel, S. (Mme S. Lallemand) Action de faibles doses de rayons X sur des graines sèches. *C. R. Soc. Biol.*, 1924, t. 91, p. 1435.

16. ——, Les rayons X appliqués sur des graines sèches n'ont aucune influence sur l'époque d'apparition du germe. *Bull. Soc. Botan. France*, 1925, t. 72, p. 196.

17. ——, Sur un phénomène de pseudo-excitation déterminé par les rayons X sur les bourgeons dormants cotylédonaires de la Lentille. *Bull. Soc. Botan. France*, 1925, t. 72, p. 1084.

18. ——, De la conservation de la lésion produite par les rayons X chez les graines sèches. *Bull. Soc. Botan. France*, 1925, t. 72, p. 992.

19. ——, Sur les variations dans la manifestation des lésions produites par les rayons X dans les graines en fonction du temps écoulé depuis l'irradiation. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 93, p. 1669.

20. ——, De l'influence accélératrice des rayons X sur le développement des plantes. *Archives physique biologique*, 1926, t. 5, p. 106.

21. ——, Recherche du meilleur test de la radio-réaction des graines de Légumineuses. *Bull. Soc. Botan. France*, 1926, t. 73, p. 71.

22. ——, Sur la cumulation des effets lésants déterminés par l'action successive de deux facteurs sur des graines de Légumineuses. *Bull. Soc. Botan. France*, 1927, t. 74, p. 346.

23. ——, Sur l'action du temps et de l'intensité dans l'effet des irradiations X sur des graines germées. *C. R. Acad. Sciences, Paris*, 1927, t. 185, p. 791.

24. ——, Le retard de développement déterminé par l'application des rayons X sur les graines est-il dû à une action sur les réserves? *Bull. Soc. Botan. France*, 1927, t. 74, p. 12.

25. ——, Sur les variations de sensibilité aux rayons X de graines germées suivant le stade du développement. *C. R. Soc. Biol.*, 1927, t. 96, p. 986.

26. ——, Influence de la température sur la radiosensibilité des graines de Lentille au cours de la germination. *C. R. Soc. Biol.*, 1927, t. 97, p. 800.

27. ——, De l'effet du fractionnement des doses de rayons X sur des graines germées. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 98, p. 223.

28. Ancel, P. et Mme S. Lallemand, Sur la protection contre l'action des rayons X par une irradiation préalable (Radiophylaxie). *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 99, p. 1588.

29. Arntzen et Krebs, Investigation into the biological effect of filtered and unfiltered X rays as mesured on peas. *Acta radiologica*, 1925, t. 4, p. 5.

30. Aschkinass et Caspari, Über den Einfluss dicoïrender Strahlen auf organisierte Substanzen, insbesondere über die bakterienschädigende Wirkung der Becquerel-Strahlen. Pflüger's *Archiv f. d. ges. Physiol.*, 1901, t. 86, p. 603.

31. Atkinson, G. F., Les rayons Röntgen et la végétation. *Revue scientifique*, 1898 (4e série), t. 9, p. 152.

32. Barkla, G., Sekundäre Röntgenstrahlen in der Medizin. *Strahlentherapie*, 1914, t. 4, p. 570.

33. Beauregard et Guichard, Action des rayons X sur certains caractères biologiques des microbes. *C. R. Soc. Biol.*, 1897, t. 49, p. 803.

34. Berg, B. et Ellinger, Ph., Über biologische Röntgenstrahlenwirkungen. II. Mitteilung. Die Abhängigkeit der Elektronemission und Streustrahlung von dem chemischen Bau der bestrahlten Materie. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 527.

35. Bering et Meyer, Experimentelle Untersuchungen über die Sensibilisierung der Röntgenstrahlen mittels Wärmedurchstrahlung. *München. mediz. Wochenschrift*, 1911, t. 58 (nº 19), p. 1000.

36. Bergonié et Tribondeau, Interprétation de quelques résultats de la radiothérapie et essai de fixation d'une technique rationnelle. *C. R. Acad. Sciences Paris*, 1906, t. 143, p. 983.

37. Bolaffio, Versuche zur luftelektrischen und biologischen Wirkung von Strahlen verschiedener Wellenlänge. *Strahlentherapie*, 1925, t. 10, p. 673.

38. Bordier, H., Biochemische Wirkung der Strahlen, insbesondere der Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie*, 1913, t. 2, p. 368-395.

39. Bordier et Galimard, Les rayons X ont-ils la propriété des effets chimiques? Action de ces rayons sur les substances à l'état colloïdal. *Arch. électr. médic.*, 1905, p. 491.

40. Brummer, Weitere Beobachtungen über Permeabilitätsänderungen von Zellen unter Röntgenstrahlung. *Strahlentherapie*, 1926, t. 31, p. 447.

41. Casemir, W., Die Wirkung der Röntgen- und Radiumstrahlen auf Zellen. *Mediz. naturwissensch. Archiv*, 1910, t. 134, p. 423.

42. Caspari, W., Betrachtungen über das Krebsproblem, besonders vom Standpunkt der Immunität. *Zeitschr. f. Krebsforsch.*, 1922, t. 19, p. 74.

43. ——, Weiteres zur biologischen Grundlage der Strahlenwirkung. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 17.

44. ——, Zum biologischen Wirkungsmechanismus der Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie*, 1925, t. 20, p. 197.

45. Cluzet, Rochaix et Kofmann, La question de l'action excitante des rayons X. Étude expérimentale sur les microorganismes. *Journ. de Radiol.*, 1925, t. 9, p. 105.

46. Chantraine, H., Zur Deutung der verschiedenen Strahlenempfindlichkeit bei den einzelnen Gewebsarten. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 85.

47. Cramer, H., Zur biologischen Strahlenwirkung. *Strahlentherapie*, 1926, t. 21, p. 633.

48. Crowther, A., Some considerations relative to the action of X rays on tissue cells. *Proc. Roy. Soc.* (*London*), 1924 (Sér. B), t. 96, p. 207.

49. Czepa, A., Die Reizwirkung der Röntgenstrahlung und der Radiumstrahlen. *Naturwiss. Wochenschr.*, 1921, p. 657.

50. ——, Experimenteller Beitrag zum Problem der wachstumsteigernden Wirkung der Röntgenstrahlen auf normales menschliches Gewebe. *Fortsch. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 31, p. 731.

51. ——, Der Einfluss der Röntgenstrahlung auf den Keimungsprozess der Pflanzensamen. *Fortsch. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 65.

52. ——, Das Problem der wachstumfördernden und funktionssteigernden Röntgen-Radiumwirkung. *Strahlentherapie*, 1924, t. 16, p. 913.

53. ——, Über einige Wirkungen von Strahlen. *Zeitschr. f. Physik*, 1922, t. 12, p. 38.

54. Dauvillier, A., Sur l'action biologique des rayons X de diverses longueurs d'onde. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1925, t. 181, p. 1130.

55. Dessauer, F., Zur Erklärung der biologischen Strahlenwirkungen. *Strahlentherapie*, 1923, t. 36, p. 208.

56. ——, Über die biologische Strahlenwirkung. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 319.

57. ——, Über die allgemeinen Bedingungen für Hypothesenbildungen in der Röntgentherapie. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 486.

58. ——, Über die allgemeinen Bedingungen für Hypothesenbildungen in der Röntgentherapie. *Strahlentherapie*, 1925, t. 19, p. 403.

59. Dognon, A., Action biologique sur l'œuf d'Ascaris de rayons X monochromatiques de différentes longueurs d'onde. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1925, t. 180, p. 694.

60. ——, La mesure et l'action biologique des rayons X de différentes longueurs d'onde. *Thèses de Médecine, Strasbourg*, 1925.

61. Esdorn, I., Untersuchungen über Einwirkung von Röntgenstrahlen auf Pflanzen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1925, t. 33, p. 528.

62. Evler, Über die heilende Wirkung der Röntgenstrahlen bei abgegrenzten Eiterungen. *Veröffentl. a. d. Gebiete des militär. Sanitätswesens Berlin*, 1906. Cité d'après Kœrnicke, *Jahrb. f. wissensch. Botanik*, 1915, t. 56, p. 416.

63. Fernau et Pauli, Über die Einwirkung der durchdringenden Radiumstrahlung auf anorganische und Biokolloïde. *Biochem. Zeitschr.*, 1915, t. 70, p. 426.

64. Fernau, Über den Mechanismus der Strahlenwirkung im Gewebe. *Strahlentherapie*, 1925, t. 19, p. 142.

65. Forsterling, K., Über Wachstumstörungen nach kurzdauernden Röntgenbestrahlungen. *Centralbl. f. Chirurg.*, 1906, t. 33 (nº 19), p. 521.

66. Fræenkel, M., Röntgenreiz- und leistungssteigende Strahlenwirkung. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922, t. 30, p. 109.

67. Friedrich et Behne, Über die Bedeutung der Bestrahlungstechnik für die Stärke der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Uteruskarzinom. *Strahlentherapie*, 1920, t. 11, p. 35.

68. Gambarow, Contribution à l'étude de l'effet soi-disant excitant des rayons X. *Ann. de Röntgen. et Radiol. U. R. S. S.*, 1925. Analysé in *Journ. Radiol. et Électrol.*, 1926, t. 10, p. 371.

69. Gassoul, R. I., De l'action exercée par les rayons X sur les tissus vivants in vitro. (Études expérimentales par le procédé d'explantation.) *Ann. de Röntgen. et Radiol. U. R. S. S.*, 1927. Analysé in *Arch. électric. médic. et physiothér. cancer*, 1927, t. 11, p. 448.

70. Glocker, Rothacker et Schönleber, Neue Methoden zur Messung der Tiefendosis im Wasserphantom. *Strahlentherapie*, 1922. t. 14, p. 389.

71. Guilleminot, H., Effets comparés des rayons X et du radium sur la cellule végétale. Valeur de l'unité M en physiologie végétale. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1907, t. 145, p. 798.

72. ——, Effets des rayons X et du radium sur la cellule végétale. *Journ. physiol. et pathol. végétale*, 1908, t. 10, p. 1–16.

73. ——, Action comparée des doses massives et des doses fractionnées de rayons X sur la cellule végétale à l'état de vie latente. *C. R. Soc. Biol.*, 1908, t. 64, p. 951.

74. ——, Persistance de l'action des rayons X et des rayons du radium sur la graine à l'état de vie latente. *C. R. Soc. Biol.*, 1910, t. 68, p. 309.

75. ——, Action des radiations nouvelles sur les plantes. *Journ. belge de Radiol.*, 1910, t. 4, p. 537.

76. Gunsett, A., Les effets dangereux des grosses doses données en peu de temps. Les petites doses ont-elles un effet pernicieux? Excitent-elles la croissance d'un néoplasme? *Journ. belge de Radiol.*, 1924, t. 13, p. 149.

77. ——, Les unités quantitométriques dans la pratique de la Rœntgenthérapie. État actuel de la question. *Arch. électric. médic. et physiothér. du cancer*, 1927, t. 11. p. 57.

78. Halberstadter et Simons, Zum Problem der Reizwirkung der Röntgenstrahlen. Biologische Ergebnisse aus Versuchen an Pflanzen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922, t. 28, p. 499–511.

79. Heidenhain, Bedingungen für Hypothesenbildungen in der Röntgentherapie. *Strahlentherapie*, 1924, t. 17, p. 113.

80. ——, Nochmals über die allgemeinen Bedingungen für Hypothesenbildungen in der Röntgentherapie. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 496.

81. Heinecke, H., Zur Theorie der Strahlenwirkung, insbesondere über die Latenzzeit. *Münch. medizin. Wochenschr.*, 1914, t. 61, p. 807, (n° 15).

82. Hertwig, G., Radiumbestrahlung unbefruchteter Froscheier und ihre Entwicklung nach Befruchtung mit normalem Samen. *Arch. f. mikr. Anat.*, 1911, t. 77 (Abt. II), p. 165–203.

83. ——, Parthenogenesis bei Wirbeltieren, hervorgerufen durch artfremden radiumbestrahlten Samen. *Arch. f. mikr. Anat.*, 1913, t. 81 (Abt. II), p. 87.

84. Holthusen, H., Über die biologische Wirksamkeit von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1919, t. 27, p. 213.

85. ——, Beitrag zur Biologie der Strahlenwirkung. Untersuchungen an Ascarideneiern. Pflüger's *Archiv f. d. ges. Physiol.*, 1921, t. 187, p. 1.

86. ——, Willkürliche Beeinflussung der Strahlenempfindlichkeit (Beitrag zum Sensibilisierungsproblem). *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922, t. 29, p. 777.

87. ——, Die Wirkung der Röntgenstrahlen in biologischer Hinsicht. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 241.

88. ——, Über die Dessauersche Punktwärmehypothese. *Strahlentherapie*, 1925, t. 19, p. 285.

89. ——, Der Zeitfaktor bei der Röntgenbestrahlung. *Strahlentherapie*, 1926, t. 21, p. 275.

90. —— Der Grundvorgang der biologischen Strahlenwirkung. *Strahlentherapie*, 1927, t. 25, p. 157.

91. Holthusen, H., Schuback, A. et Sielmann, H., Sensibilisierung durch Sekundärstrahlen von Metalloberflächen. *Strahlentherapie*, 1927, t. 24, p. 577.

92. Holweck, F., Essai d'interprétation énergétique de l'action des rayons X de l'aluminium sur les microbes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1928, t. 186, p. 1318.

93. ——, Production de rayons X monochromatiques de grande longueur d'onde. Action quantique sur les microbes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1929, t. 188, p. 197.

94. Holzknecht, Gibt es eine Reizwirkung der Röntgenstrahlen? *Münch. medizin. Wochenschr.*, 1923, t. 70 (n° 24), p. 761.

95. Holzknecht et Pordes, Ideenbewegung, Naturgesetze, Hypothesen zur Frage der Röntgenreizwirkung. Zugleich Bemerkung zur Verst. der Arbeit Thedering's sowie anderer einschlägigen Arbeiten. *Strahlentherapie*, 1924, t. 16, p. 728.

96. Iven, H., Neuere Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzen. *Strahlentherapie*, 1925, t. 19, p. 413–461.

97. Jansson, G., Die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf das Zellprotoplasma. *Acta radiologica*, 1927, t. 8, p. 427.

98. Jungling, O., Die praktische Verwendbarkeit der Wurzelreaktion von Vicia faba equina zur Bestimmung der biologischen Wertigkeit der Röntgenstrahlen. *Münch. medizin. Wochenschr.*, 1920, t. 67 (n° 40), p. 1141.

99. ——, Untersuchungen zur chirurgischen Röntgentiefentherapie. *Strahlentherapie*, 1920, t. 10, p. 501.

100. ——, Grundsätzliches zur Frage der prophylactischen Nachbestrahlung. *Arch. f. klin. Chir.*, 1921, t. 116, p. 557.

101. Jungling, O. et Beigel, Über die Verwendbarkeit der Wurzelreaktion von Vicia faba equina zur Ausdosierung eines Radiumpräparates. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 423.

102. Jungling, O., Zur Frage der Latenz und Kumulierung der Röntgenwirkung. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 134.

103. ——, Röntgenbehandlung chirurgischer Krankheiten. Leipzig, S. Hirzel, 1924.

104. Kleesattel, H., Zur Frage der Röntgenempfindlichkeit des Strahlenpilzes. *Strahlentherapie*, 1924, t. 17, p. 390.

105. Knipping et Konitz, Über die Einwirkung der Röntgenstrahlen auf die Eiweisskörper des Plasmas. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 31, p. 660.

106. Kœrnicke, M., Wirkung der X-Strahlen auf die Keimung und das Wachstum. *Ber. d. deutschen botan. Gesellsch.*, 1904, t. 22, p. 148.

107. ——, Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Keimung und das Wachstum. *Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch.*, 1904, t. 22, p. 155.

108. ——, Weitere Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radium-Strahlen auf die Pflanzen. *Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch.*, 1905, t. 23, p. 324.

109. ——, Über die Wirkung von Röntgen- und Radium-Strahlen auf pflanzliche Gewebe und Zellen. *Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch.*, 1905, t. 23, p. 404.

110. ——, Die biologischen Einwirkungen der Röntgenstrahlen auf die Pflanzen. *Zeitschr. f. physical. u. diätet. Therapie*, 1914, t. 18, p. 362.

111. ——, Über die Wirkung verschieden starker Röntgenstrahlen auf Keimung und Wachstum bei den höheren Pflanzen. *Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik*, 1915, t. 56, p. 416.

112. ——, Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1920, t. 27, p. 661.

113. ——, Handbuch der gesamten medizinischen Anwendungen der Elektrizität für Röntgenkunde. Leipzig, W. Klinkhardt, 1922.

114. Kok et Vorlander, Biologische Versuche über die Wirkung der Bestrahlung auf das Karzinom. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 497.

115. Komuro, I., Studies in the effect of Röntgen rays upon the development of Vicia faba. *Journ. of the College of Agric., Univers. Tokyo*, 1923, t. 8, p. 253–292.

116. ——, On the effect of Röntgen rays upon the growth of Oryza sativa. *Botan. Magaz. Tokyo*, 1922, t. 36, p. 15–17.

117. ——, Preliminary note on the cells of Vicia faba modified by Röntgen rays and their resemblance to tumor cells. *Botan. Magaz. Tokyo*, 1922, t. 36, p. 41–45.

118. ——, Studies in the effect of Röntgen rays upon the germination of Oryza sativa. *Botan. Magaz. Tokyo*, 1924, t. 38, p. 1–22.

119. ——, Cytological and physiological changes in Vicia faba irradiated with Röntgen rays. *The botanical Gazette*, 1924, t. 77, p. 446–452.

120. ——, Über die abnormale Kernteilung in den Wurzelspitzen von Vicia faba. *Botan. Magaz. Tokyo*, 1924, t. 38, p. 115–117.

121. ——, Die Kerne und ihre Chromosomen in den Wurzelspitzen von Trillium. *Botan. Magaz. Tokyo*, 1924, t. 38, p. 171–174.

122. ——, The cells of Vicia faba modified by Röntgen rays and their resemblance to malignant tumour cells with the cytological observations of tumours. *Japanese Journ. of Botany. Tokyo*, 1924, t. 2, p. 134–156.

123. Kothe, R., Über den Einfluss photodynamischer Substanzen auf die Wirkung der Röntgenstrahlen. *Deutsch. Medizin. Wochenschr.*, 1904, t. 30, (nº 38), p. 1384.

124. Krœtz, Ch., Bedeutung des physikalisch-chemischen Zustandes der Zellkolloide für ihre Strahlenempfindlichkeit. *Biochem. Zeitschr.*, 1923, t. 137, p. 372.

125. Krönig et Friedrich, Physikalische und biologische Grundlage der Strahlentherapie. III. *Sonderband zur Strahlentherapie*, Berlin, Urban und Schwarzenberg, 1918.

126. Laborde, S., Notions générales concernant la radiosensibilité des tissus. *Journ. de radiol. et d'électrol.*, 1924, t. 8, p. 289.

127. Lacassagne, A., Action des rayons K de l'aluminium sur quelques microbes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1926, t. 186, p. 1316.

128. ——, Action des rayons X de grande longueur d'onde sur les microbes. Établissement de statistiques précises de la mortalité des bactéries irradiées. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1929, t. 188, p. 200.

129. Lacassagne, A. et Monod, Les caryocinèses atypiques provoquées dans les cellules cancéreuses par les rayons X et ϒ et leur rôle dans la régression des tumeurs malignes irradiées. *Arch. franç. pathol. génér. et expérim. et Anat. pathol.*, 1922, p. 1.

130. Lallemand (Mme S.), voir Ancel, S.

131. Laswine, L'ordre de succession des modifications morphologiques qui se produisent dans une cellule sous l'influence des rayons X et du radon. *Ann. de rœntgen. et radiol. U. R. S. S.*, 1927, p. 357–365. Analysé in *Arch. électric. médic.*, 1927, t. 11, p. 448.

132. Leckt, Wirkung der Röntgen- und Radium-Strahlen auf die Pflanzen. *Naturwissensch. Wochenschr.*, 1906, nº 24. Analysé in *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1906/07, t. 10, p. 198.

133. Lewin, H., Beobachtungen an Sekundärstrahlenblenden. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1927, t. 36, p. 1208.

134. Linsbauer, K., Röntgenologische Untersuchungen an Moosen und Farnen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1926, t. 34, p. 25 et 265.

135. Lob, W., Über Strahlenwirkung auf Kolloide. *Biochem. Zeitschr.*, 1915, t. 71, p. 479.

136. Lœb, L., The effects of Röntgen- and Radiumstrahlen substances on living cells and tissues. *Journ. Cancer Research*, 1923, t. 7, p. 229–282.

137. Liechti, Über die Bedeutung der Bestrahlung für die biologische Röntgenstrahlenwirkung. *Acta radiologica*, 1926, t. 5, p. 385.

138. Maisin, J. et Masy, S., Au sujet du mécanisme d'action des rayons X sur les graines. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 98, p. 886.

139. Maldiney et Thouvenin, De l'influence des rayons X sur la germination. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1898, t. 128, p. 548.

140. —— et ——, De l'influence des rayons X sur la germination. *Revue génér. Botan.*, 1898, t. 10, p. 81.

141. Martius, Experimentelle Untersuchungen zur Röntgenstrahlenwirkung. *Arch. f. Gynäkol.*, 1923, t. 120, p. 193.

142. ——, Bohnenversuche an Röntgenstrahlen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 361.

143. Matoni, H., Die Abhängigkeit der Stärke der biologischen Wirkung von der Intensität der Röntgenstrahlen bei gleicher Dosis. *Strahlentherapie*, 1924, t. 18, p. 375.

144. Mavor, Études sur les effets biologiques des rayons X. *Amer. Journ. of Rœntgen- and Rad. Ther.*, 1923, t. 10, p. 968. Analysé in *Journ. de radiol. et électrolog.*, 1924, t. 8, p. 281.

145. Meyer, H., Röntgenstrahlen und Stoffwechsel. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 104.

146. Meyer, H. et Ritter, H., Experimentelle Untersuchungen zur biologischen Strahlenwirkung. *Strahlentherapie*, 1912, t. 1, p. 172.

147. Miège et Coupe, Influence des rayons X sur la végétation. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1914, t. 159, p. 338.

148. Mohr, O., Mikroskopische Untersuchungen zu Experimenten über den Einfluss der Radiumstrahlen und der Kältewirkung auf die Chromatinreifung und das Heterochromosom bei Dectius veruccivorus (♂). *Arch. f. mikr. Anat.*, 1919, t. 92, p. 300.

149. Molisch, Über das Treiben von Pflanzen mittels Radium. *Sitzber. d. kaiserl. Akadem. Wissenschaft. in Wien*, 1912, cité par F. Weber in *Bioch. Zeitschr.*, 1922, t. 128, p. 495.

150. Mottram, J. C., *Arch. middlesex Hosp.*, 1913. Cité d'après Lœb, L., *Journ. Cancer Research*, 1923, t. 7, p. 229.

151. Nadson, G., Sur l'accélération du « temps » de la vie et le vieillissement prématuré chez les organismes inférieurs sous l'influence des rayons X et du radium. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 93, p. 1585.

152. Nadson, G., Rochlin, G. et Gleichgewicht, E., Le chondriome est la partie de la cellule la plus sensible aux rayons X. *C. R. Soc. Biol.*, 1926, t. 95, p. 378.

153. ——, —— et ——, L'effet des rayons X sur le protoplasme et le noyau de la cellule végétale d'après les observations sur le vivant. *C. R. Soc. Biol.*, 1926, t. 94, p. 249.

154. Nadson, G. et Zolkevie, A. J., Kalium als Antagonist der Röntgenstrahlen und des Radiums. *Biochem. Zeitschr.*, 1925, t. 163, p. 457.

155. Nakashina, Y., Einige Versuche zum Grundvorgang der biologischen Strahlenwirkung. *Strahlentherapie*, 1927, t. 24, p. 1–36.

156. Nemenow, A contribution to the biological action of Rœntgen rays. *The british Journ. of Radiol.*, 1926, t. 31, p. 303.

157. Opitz, E., Zur Hypothese von der Punktwärme nach Dessauer. *Strahlentherapie*, 1926, t. 21, p. 444.

158. Pauli, W. E. et Sulger, E., Über die bactericide Wirkung von

Röntgenstrahlen in ihrer Abhängigkeit von äusseren Faktoren. *Strahlentherapie*, 1928, t. 29, p. 128.

159. Perthes, Versuche über den Einfluss der Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen auf die Zellteilung. *Deutsch. medizin. Wochenschr.*, 1904, t. 30, p. 632.

160. ——, Versuche über den Einfluss der Röntgenstrahlen und Radiumstrahlen auf die Zellteilung. *Deutsch. medizin. Wochenschr.*, 1904, t. 30, p. 668.

161. ——, Die biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie*. 1923, t. 14, p. 738.

162. Petry, E., Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen. *Biochem. Zeitschr.*, 1921, t. 119, p. 23–44.

163. ——, Über die Röntgenempfindlichkeit pflanzlicher Objekte massgebenden Bedingungen. *Wien. klin. Wochenschr.*, 1922, t. 35 (nº 2), p. 27.

164. ——, Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen. II. Mitteilung. *Biochem. Zeitschr.*, 1922, t. 128, p. 326–353.

165. ——, Zur Kenntnis der Bedingungen der biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen. III. Mitteilung. Wirkung von Oxydationsmitteln auf die Empfindlichkeit. *Biochem. Zeitschr.*, 1923, t. 135, p. 353–383.

166. Picado et Vicente, Influence des rayons X sur la germination des graines. *Arch. Phys. biol.*, 1923, t. 3, nº 1.

167. Pordes, F., Ist zur Erklärung der Röntgenwirkung die Annahme von Funktions- und Wachstums-Reiz notwendig? *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen*, 1923, t. 31, p. 70.

168. ——, Der Mechanismus der Röntgenstrahlen. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen*, 1923, t. 31, p. 287.

169. Über den Begriff « Reiz » in der Röntgenologie. *Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen*, 1925, t. 33, p. 84.

170. ——, Zum biologischen Wirkungsmechanismus der Röntgenstrahlen. *Strahlentherapie*, 1925, t. 19, p. 307.

171. Promsy et Drevon, Influence des rayons X sur la germination. *Rev. génér. Botan.*, 1912, t. 24, p. 177.

172. Regaud, Cl. et Blanc, Action tératogène des rayons X sur les cellules séminales. *C. R. Soc. Biol.*, 1906, t. 41, p. 390.

173. —— et ——, Action des rayons de Rœntgen sur les éléments de l'épithélium séminal. *C. R. Soc. Biol.*, 1906, t. 41, p. 652.

174. —— et ——, Effets généraux produits par les rayons de Rœntgen sur les cellules vivantes d'après les résultats obtenus jusqu'à présent dans l'épithélium séminal. *C. R. Soc. Biol.*, 1906, t. 41, p. 731.

175. Regaud, Cl., Le rythme alternant de la multiplication cellulaire et la radiosensibilité du testicule. *C. R. Soc. Biol.*, 1922, t. 86, p. 822.

176. ——, Influence de la durée d'irradiation sur les effets déterminés dans le testicule par le radium. *C. R. Soc. Biol.*, 1922, t. 86, p. 787.

177. ——, La radiosensibilité des néoplasmes malins dans ses relations avec

les fluctuations de la multiplication cellulaire. *C. R. Soc. Biol.*, 1922, t. 86, p. 993.

178. Regaud, Cl. et Lacassagne, A., Immuabilité de la structure dans les récidives locales successives des cancers traités par les radiations. *C. R. Soc. Biol.*, 1923, t. 88, p. 599.

179. Regaud, Cl., La période de latence dans les effets biologiques des rayons X et γ. Son explication histo-physiologique. *Bull. Acad. Médec. Paris*, 1923, t. 90 (3e sér.), p. 375.

180. Regaud, Cl., Lacassagne, A. et Jovin, Lésions microscopiques déterminées par les rayons X dans l'embryon de Poulet. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 93, p. 1587.

181. Regaud, Cl. et Ferroux, Est-il possible de stériliser le testicule du Lapin adulte par une dose massive de rayons X sans produire de lésions graves de la peau ? *C. R. Soc. Biol.*, 1927, t. 97, p. 330.

182. —— et ——, Discordance des effets des rayons X d'une part dans la peau, d'autre part dans le testicule, par le fractionnement de la dose : diminution de l'efficacité dans la peau, maintien de l'efficacité dans le testicule. *C. R. Soc. Biol.*, 1927, t. 97, p. 431.

183. Reiss, P., Sur l'excitation des bourgeons des plantes par les rayons X. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 92, p. 984.

184. ——, Sur l'action comparée des rayons X et du radium sur le noyau et le protoplasme. *C. R. Soc. Biol.*, 1925, t. 92, p. 984.

185. Rochlin, G. et Gleichgewicht, E., Zur Frage vom biologischen Einfluss der Röntgenstrahlen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1925, t. 33, p. 971.

186. Rost et Krüger, Untersuchungen zur gynäkologischen Tiefentherapie. *Strahlentherapie*, 1913, t. 2, p. 314.

187. Rost, Röntgenbehandlung innerer Krankheiten. München, Lehmann, 1923.

188. Ruedinger, E., Zur Frage der Röntgenstrahlenwirkung auf die Gartenerde. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1911/12, t. 18, p. 76.

189. Rüss, S., Die im tierischen Gewebe entstehenden Sekundärstrahlen. *Strahlentherapie*, 1913, t. 2, p. 308.

190. Sabrazès et Rivière, Recherche sur l'action biologique des rayons X. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1906, t. 114, p. 976.

191. Salazar, A. L., A propos de l'irradiation de l'ovaire de la Lapine. Quelques doutes au sujet de la loi de radiosensibilité de Bergonié et Tribondeau. *C. R. Soc. Biol.*, 1922, t. 87, p. 703.

192. Sakamura, T., Experimentelle Studien über die Zelle und Kernteilung mit besonderer Rücksicht auf Form, Grösse und Zahl der Chromosomen. *Journ. of the College of Sc. Imp. Univ. Tokio*, 1920, t. 39, p. 99.

193. Schinz, H. R., Biologische Grundlagen der Strahlentherapie. *Fortschritte a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 32, p. 101.

194. —— et Slotopolsky, Experimenteller Beitrag zur Frage der Röntgenallergie. *Acta radiologica*, 1926, t. 7, p. 365.

195. Schlachta, G., Zur Theorie der biologischen Strahlenwirkung. *Münch. medizin. Wochenschr.*, 1905, t. 26, p. 1236.

196. Schmidt, Experimentelle Untersuchungen über die Wirkung kleinerer und grösserer Röntgenstrahlenmengen auf junge Zellen. *Berl. klin. Wochenschr.*, 1910, t. 47 (nº 21), p. 972.

197. ——, Eine Vorrichtung für Desensibilisierung der Haut bei Tiefenbestrahlung. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1910, t. 15, p. 117.

198. ——, Experimentelle und histologische Untersuchungen über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf vitale Färbbarkeit der Gewebe. *Strahlentherapie*, 1921, t. 12, p. 517.

199. Schober, A., Ein Versuch mit Röntgenstrahlen auf Keimpflanzen. *Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch.*, 1896, t. 14, p. 108.

200. Schulz, D. E. et Hoffmann, R., Zur Wirkungsweise der Röntgenstrahlen. *Deutsch. Zeitschr. f. Chirurg.*, 1905, t. 79, p. 350.

201. Schwarz, Stoffwechselgrösse und Röntgenlichtempfindlichkeit der Zelle. *Mitt. a. d. Wien. Röntgenlaboratorium*, 1907. Cité d'après Schmidt, *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1910, t. 15, p. 117.

202. Schwarz, E., Der Wachstumreiz der Röntgenstrahlen auf pflanzliches und tierisches Gewebe. *Münch. mediz. Wochenschr.*, 1913, t. 60 (nº 39), p. 2165.

203. Schwarz, G., Zellteilung und Röntgenstrahlen. *Wien. klin. Wochenschrift*, 1903, t. 16 (nº 24), p. 715.

204. ——, Strahlenbiologische Untersuchungen zum Malignitätsproblem. *Strahlentherapie*, 1924, t. 16, p. 394.

205. Schwarz, G., Czepa, A. et Schindler, H., Zum Problem der wachstumfördernden Reizwirkung der Röntgenstrahlen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922, t. 30, p. 687.

206. ——, —— et ——, Zum Problem der wachstumfördernden Reizwirkung der Röntgenstrahlen bei höheren Pflanzen. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1924, t. 31, p. 665.

207. ——, —— et ——, Neuere Untersuchungen über die Wirkung der Röntgenstrahlen auf Pflanzen. Vorläufige Bemerkungen zu der Arbeit H. Iven's in Bd. 19, H. 3 dieser Zeitschrift. *Strahlentherapie*, 1925, t. 20, p. 210.

208. Seckt, Über den Einfluss der X-Strahlen auf den pflanzlichen Organismus. *Ber. d. deutsch. botan. Ges.*, 1902, t. 20, p. 87.

209. Sierp et Robbers, Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Pflanzen. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 538.

210. Simons, A., Experimenteller Beitrag zum Problem der wachstumerregenden Wirkung der Röntgenstrahlen auf normales menschliches Gewebe. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922/23, t. 30, p. 300.

211. Strangeways et Oakley, The immediate changes observed in tissue cells after exposure to soft X rays while growing in vitro. *Proc. Roy. Soc. London*, Ser. B. 1923/24, t. 95, p. 373.

*

212. Strauss, O., Experimentelle Studien über gewisse biologische Strahlenwirkungen. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 81.

213. —, Über den Einfluss der Röntgenstrahlen auf endozelluläre und Stoffwechselvorgänge. *Strahlentherapie*, 1923, t. 16, p. 195.

214. Thedering, Über Begriff und Bedeutung der Röntgenreizdosis bei Hautbestrahlung. *Strahlentherapie*, 1924, t. 16, p. 722.

215. Tolomes, *Atti dei Leincei*. Résumé in « *La Nature* », février 1896, p. 323.

216. Trillat, J. J., Action des rayons X de grande longueur d'onde sur les microorganismes (cas du Bacillus prodigiosus). *C. R. Acad. Sc. Paris*, t. 183, p. 614.

217. ——, Sur l'action secondaire des rayons X sur les microorganismes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1926, t. 183, p. 1304.

218. ——, Sur l'attribution aux électrons secondaires de l'action des rayons X sur les microorganismes. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1927, t. 184, p. 170.

219. ——, Recherches sur l'action bactéricide des rayons X. *Ann. Inst. Pasteur*, 1927, t. 41, p. 584–606.

220. Vintemberger, P., Sur les variations de la radiosensibilité au cours des premières mitoses de segmentation dans l'œuf de Rana fusca. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 98, p. 532.

221. ——, Sur l'amplitude des variations de la radiosensibilité dans l'œuf de Rana fusca au cours des premières mitoses de segmentation. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 98, p. 536.

222. ——, Sur le résultat de l'application d'une forte dose de rayons X à une région de la cellule ne renfermant pas le noyau. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 99, p. 1965.

223. ——, Sur les effets d'applications de rayons X localisés soit au protoplasme, soit à la région nucléaire de la cellule. *C. R. Soc. Biol.*, 1928, t. 99, p. 1968.

224. Voltz, F., Sensibilität und Sensibilisierung in der Strahlentherapie. *Fortschr. a. d. Gebiete d. Röntgenstrahlen*, 1922, t. 29, p. 61.

225. ——, Neuere Untersuchungen zur Frage der Radiosensibilität. *Strahlentherapie*, 1922, t. 14, p. 93.

226. Weber, F., Frühtreiben ruhender Pflanzen durch Röntgenstrahlen. *Biochem. Zeitschr.*, 1922, t. 128, p. 495–507.

227. ——, Latenzperiode röntgenbestrahlter ruhender Samen. *Wien. klin. Wochenschr.*, 1923 (nº 8), p. 147.

228. ——, Röntgenstrahlenwirkung und Protoplasmaviscosität. Pflüger's *Arch. f. d. ges. Physiol.*, 1923, t. 198, p. 644.

229. Weber, F., et Bersa, E., Frühtreiben durch Röntgenstrahlen. Eine Reizwirkung? *Die Umschau*, 1926, t. 30, p. 330.

230. Wels, P., Beiträge zur Kenntnis der Strahlenwirkungen. *Strahlentherapie*, 1924, t. 16, p. 617.

231. Wels et Osann, Die Wirkung der Röntgenstrahlen auf die Hefezellen. Pflüger's *Arch. f. d. ges. Physiol.*, 1925, t. 207, p. 156.

232. Wels, P. et Thiele, A., Der Einfluss der Röntgenstrahlen auf

Eiweisskörper. Pflüger's *Arch. f. d. ges. Physiol.*, 1925, t. 209, p. 49.

233. Werner, R., Zur chemischen Imitation der biologischen Strahlenwirkung. *Münch. mediz. Wochenschr.*, 1905, t. 52, p. 691.

234. Wernhardt, K., Influence des rayons X sur la germination et sur la croissance des végétaux. *C. R. Soc. Biol.*, 1927, t. 96, p. 1090.

235. Wetterer, Beitrag zur Kenntnis der biologischen Wirkung der Röntgenstrahlen auf das Wachstum der Pflanze. *Verhandl. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Aerzte*, 1912, t. 83, p. 76.

236. Willcook, The actions of the rays from radium upon some simple forms of animal life. *Journ. physiol. Cambridge*, 1904, t. 30, p. 449.

237. Williams, M., Observations on the action of X rays on plant cells. *Annals of Botany*, 1923, t. 37, p. 217–224.

238. Wintz, H., Grenzfragen aus biologischen und physikalischen Gebieten der Röntgentiefentherapie. *Acta radiologica*, 1926, t. 7, p. 675.

239. Withers, S., Certain biological principes of radiation therapy. *Americ. Journ. of Rœntgenol.*, 1923, t. 96, p. 776.

# EXPLICATION DES PLANCHES (Pl. I et II)

Les Figures sont des photographies de coupes de pointes de racines d'Allium cepa. Les racines ont été coupées longitudinalement. L'épaisseur des coupes est de 7 1/2 μ.

**Fig. 1.** — *Coupe témoin faite avant l'irradiation.* — On voit de nombreuses cellules en mitose et des rangées de cellules, dont le noyau n'a pas été intéressé par la coupe. — Gross. 234 D.

**Fig. 2.** — *Coupe d'une racine irradiée avec une dose de* 300 *R et fixée au cours de la première phase cinétique,* 3 *heures* 1/2 *après l'irradiation.* — Le nombre des cellules en mitose a diminué. Beaucoup de noyaux en division sont en picnose. — Gross. 234 D.

**Fig. 3.** — *Coupe d'une racine irradiée avec une dose de* 300 *R, fixée au cours de la phase acinétique,* 24 *heures après l'irradiation.* — Tous les noyaux sont au repos. — Gross. 234 D.

**Fig. 4.** — *Coupe d'une racine irradiée avec une dose de* 300 *R, fixée au cours de la deuxième phase cinétique,* 48 *heures après l'irradiation.* — Des mitoses ont réapparu en grand nombre, elles présentent des aspects anormaux. — Gross. 234 D.

**Fig. 5.** — *Racine témoin non irradiée : une prophase entre deux anaphases.* — Gross. 950 D.

**Fig. 6.** — *Racine témoin non irradiée : une métaphase.* — Gross 950 D.

**Fig. 7.** — *Racine témoin non irradiée : deux télophases.* — Gross 950 D.

**Fig. 8.** — *Racine irradiée avec une dose de* 300 *R, fixée* 7 *heures* 1/2 *après l'irradiation : une prophase entre deux anaphases.* — Gross. 950 D.

**Fig. 9.** — *Racine irradiée avec une dose de* 300 *R, fixée* 7 *heures* 1/2 *après l'irradiation.* — On voit une métaphase avec des chromosomes gonflés et une autre cellule en voie de division et avec un noyau picnotique ; — Gross. 950 D.

**Fig. 10.** — *Racine irradiée avec une dose de* 1000 *R, fixée une heure après l'irradiation.* — On observe ici déjà toutes les lésions de la première phase cinétique. A droite et en haut, on voit une anaphase avec un pont chromatique volumineux. La picnose est déjà si avancée dans d'autres noyaux en mitose qu'on ne peut savoir à quel stade de la division ils sont arrivés. — Gross. 950 D.

**Fig. 11.** — *Racine irradiée avec une dose de* 300 *R et fixée,* 48 *heures après l'irradiation.* — Cette cellule montre un des aspects créés par des troubles que subissent les chromosomes dans leur ascension, au cours de la seconde phase cinétique. Un des noyaux fils est divisé en deux parties inégales. — Gross. 950 D.

**Fig. 12.** — *Racine irradiée avec une dose de* 300 *R et fixée,* 4 *jours après l'irradiation.* — La figure représente un noyau accessoire, c'est le plus volumineux de tous ceux que j'aie observés.

**Fig. 13.** — *Racine irradiée avec une dose de* 300 *R et fixée,* 6 *jours après l'irradiation.* — La figure montre trois cellules, dont deux renferment des grains chromatiques, restes de chromosomes aberrants. La troisième cellule est en mitose, les chromosomes sont fins et leur ascension est irrégulière.

**Fig. 14.** — *Spectre du rayonnement utilisé.* — Anticathode de tungstène sous 95 K. V. maximum. — $\lambda = 0{,}13$ à $0{,}25$ U. Å.

# TABLE DES MATIÈRES

Page

INTRODUCTION ..... 3

TECHNIQUES.

I. — *Technique des irradiations* ..... 14
II. — *Technique concernant le choix et la culture des plantes* .... 16

CHAPITRE I.

ÉTUDE DE L'ACTION BIOLOGIQUE DE FAIBLES DOSES DE RAYONS X.

I. — *Action de faibles doses de rayons X sur la vitesse d'apparition du germe* ..... 24
1° Historique ..... 24
2° Recherches personnelles ..... 25
3° Discussion ..... 34
II. — *Action de faibles doses de rayons X sur la vitesse de développement des plantes* ..... 35
1° Historique ..... 35
2° Recherches personnelles ..... 41
3° Discussion ..... 51
III. — *Action de faibles doses de rayons X sur la vitesse de régénération de plantes préalablement lésées par un agent autre que les rayons* ..... 53
1° Historique ..... 53
2° Recherches personnelles ..... 53
IV. — *Phénomènes de pseudo-excitation* ..... 55
1° Historique ..... 55
2° Recherches personnelles ..... 56
3° Interprétation des résultats ..... 58

CHAPITRE II.

ÉTUDE DE L'ACTION BIOLOGIQUE DE DOSES MOYENNES ET FORTES DE RAYONS X.

I. — *Action de différentes doses de rayons X sur la germination des graines* ..... 61

Page

1° Historique ..... 61
2° Recherches personnelles ..... 61
3° Interprétation des résultats ..... 64

II. — *Action de différentes doses de rayons X sur le développement des plantes* ..... 65

A. — Étude macroscopique ..... 66

*a*) *Action des doses différentes de rayons X sur une plante donnée* ..... 66

1° Étude de la réaction de la plante à l'irradiation 66

α) Historique ..... 66
β) Recherches personnelles ..... 67
γ) Interprétation des résultats ..... 73

2° Étude de la réaction des diverses parties de la plante à l'irradiation. Recherche du test de radiosensibilité maxima ..... 76

3° Action de différentes doses de rayons X sur la régénération de plantes préalablement lésées par un agent autre que les rayons X ..... 77

*b*) *Action de doses différentes de rayons X sur diverses espèces de plantes* ..... 81

B. — Étude microscopique ..... 82

1° Historique ..... 82
2° Recherches personnelles ..... 89
3° Interprétation des résultats et discussion ..... 106

## Chapitre III.

## ÉTUDE DE LA SENSIBILITÉ DES PLANTES A L'ACTION DES RAYONS X.

I. — *Étude de la radiosensibilité* ..... 110

A. — Étude des variations de la radiosensibilité d'une plante donnée ..... 110

a) *Variations de la radiosensibilité suivant le stade* 110

1° Historique ..... 110
2° Recherches personnelles ..... 112
α) Techniques ..... 112
β) Résultats ..... 112

*b*) *Variations de la radiosensibilité des diverses parties de la plante* ..... 116

1° Technique ..... 116
2° Résultats ..... 116

α) Influence de l'irradiation des réserves sur le développement ultérieur de la plante ..... 117

β) Influence de l'irradiation des diverses parties de la plante sur le développement ultérieur du végétal ..... 117

Page

B. — Étude des variations de la radiosensibilité de plantes différentes ..... 120

II. — *Étude des facteurs susceptibles de faire varier la radiosensibilité des plantes aux rayons X* ..... 121

A. — Influence des facteurs d'ordre intérieur sur la radiosensibilité de la plante ..... 121

*a) Influence de l'épaisseur de la couche cellulosique* 122

*b) Influence de la présence de la chlorophylle* ..... 123

*c) Influence de la mitose* ..... 124

B. — Influence des facteurs d'ordre extérieur sur la radiosensibilité de la plante ..... 128

*a) Influence de la température* ..... 128

1° Historique ..... 128

2° Recherches personnelles ..... 129

*b) Influence des agents chimiques sur la radiosensibilité des plantes* ..... 132

1° Agents susceptibles de diminuer la radiosensibilité ..... 132

2° Agents chimiques susceptibles d'augmenter la radiosensibilité ..... 136

III. — *Étude des causes de la radiosensibilité* ..... 137

A. — Influence du métabolisme ..... 138

B. — Influence de l'hydratation ..... 140

C. — Influence de la structure cellulaire ..... 142

## Chapitre IV.

## ÉTUDE DE LA MANIFESTATION DES RADIOLÉSIONS.

I. — *Action de facteurs extérieurs sur la manifestation des radiolésions* ..... 144

A. — Action du temps ..... 144

B. — Action de la lumière ..... 150

C. — Action de divers agents chimiques ..... 151

D. — Action du traumatisme ou d'une lésion différente de celle des rayons X ..... 153

1° Historique ..... 153

2° Recherches personnelles ..... 154

α) Techniques ..... 154

β) Résultats ..... 154

II. — *Étude de la latence active* ..... 156

1° Historique ..... 156

2° Recherches personnelles ..... 158

α) Étude macroscopique ..... 158

β) Étude microscopique ..... 160

III. — *Étude de la latence passive* ..... 161

1° Historique ..... 161

2° Recherches personnelles ..... 162

Page

IV. — *Étude de la dose dispersée* ..... 164
1° Historique ..... 164
2° Recherches personnelles ..... 165
α) Influence des variations de la distance objet-anticathode ..... 165
β) Influence des variations du milliampérage ..... 167

V. — *Étude de la cumulation des doses de rayons X* ..... 169
A. — Action biologique d'une même dose, appliquée en une ou plusieurs fois ..... 169
1° Historique ..... 169
2° Recherches personnelles ..... 170
α) Recherches effectuées sur Lens esculata ..... 170
β) Recherches effectuées sur Allium cepa ..... 173
B. — Mécanisme de la non-cumulation des doses fractionnées 174
1° Historique ..... 174
2° Théorie personnelle ..... 175
*a*) *Action du temps écoulé entre les fractionnements* 176
α) Technique ..... 176
β) Résultats ..... 176
*b*) *Action de la température dans l'intervalle de temps séparant les fractionnements* ..... 177
α) Technique ..... 179
β) Résultats ..... 179
*c*) *Action du mode de fractionnement de la dose* .. 182
α) Fractionnements en doses multiples et égales 182
β) Fractionnements en deux doses inégales ... 182

CHAPITRE V.

## ÉTUDE DE LA RADIOPHYLAXIE.

I. — *Démonstration expérimentale de la radiophylaxie* ..... 190
A. — Étude de la radiophylaxie faite sur Lens esculata ... 191
1° Technique ..... 191
2° Résultats ..... 192
3° Interprétation des résultats ..... 197
B. — Étude de la radiophylaxie faite sur Allium cepa ... 201
1° Technique ..... 201
2° Résultats ..... 201

II. — *Étude des conditions optima pour la production du phénomène radiophylactique* ..... 202
A. — Action des doses premières et secondes ..... 202
B. — Action du temps écoulé entre la première et la seconde irradiation ..... 204
C. — Action de la température entre la première et la seconde irradiation ..... 205

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ..... 207
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE ..... 214
EXPLICATION DES PLANCHES ..... 228

# DEUXIÈME THÈSE

## PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Mécanisme de l'action des anesthésiques.
Rapport entre la constitution des anesthésiques et l'intensité de leur action.

**Les Salviniacées.**

VU ET APPROUVÉ :
Strasbourg, le 17 mai 1929.
*Le Doyen de la Faculté des Sciences,*
P. TH. MULLER.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :
Strasbourg, le 18 mai 1929.
*Le Recteur de l'Académie,*
*Président du Conseil de l'Université,*
*pour le Recteur*
*Le Vice-Président du Conseil de l'Université*
V. MARTIN.

Fig. 1

Fig. 2

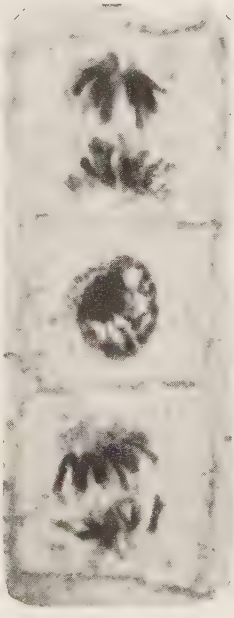


Fig. 5

Fig. 6

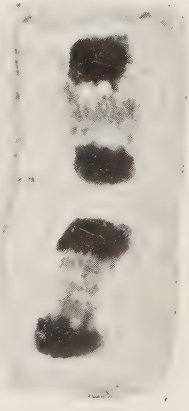


Fig. 7

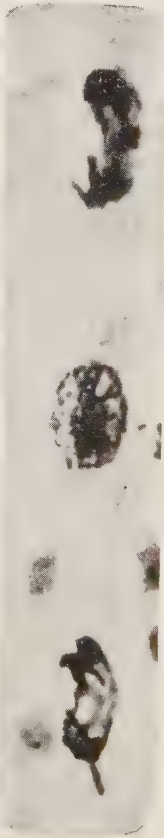


Fig. 8

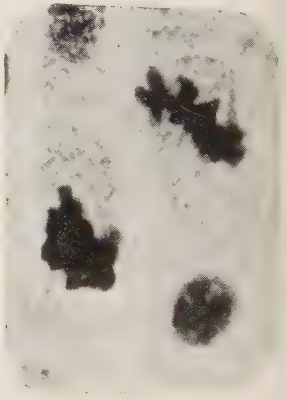


Fig. 9

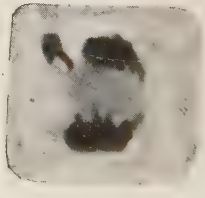


Fig. 11

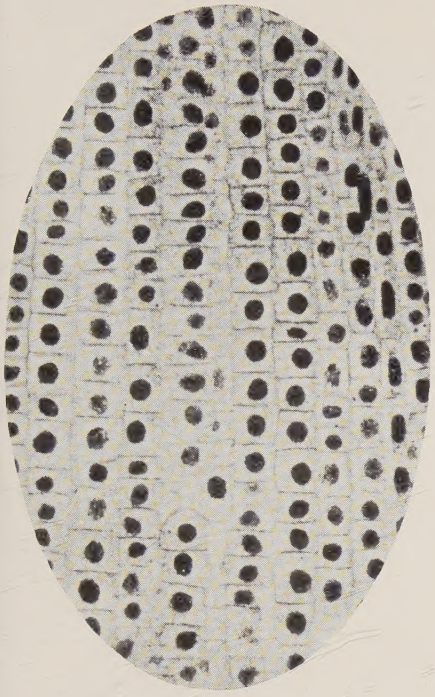


Fig. 3

Fig. 4

Fig. 10

Fig. 13

Fig. 12

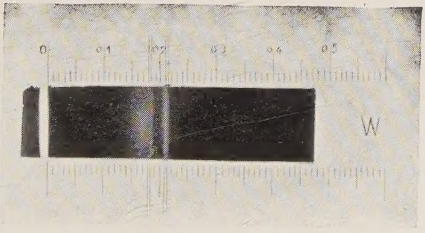



Fig. 14